



# ***Economische & ecologische impact van fotovoltaïsche geluidsschermen***

**Ellen De Schepper**

promotor :  
Prof. dr. Jean MANCA

co-promotor :  
Prof. dr. Theo THEWYS

# Woord vooraf

In het 2<sup>e</sup> masterjaar van de opleiding handelsingenieur met als afstudeerrichting Technologie-, Innovatie- en Milieumanagement (TIM) kreeg ik de kans om een eindverhandeling te schrijven over fotovoltaïsche geluidsschermen. Bij de introductie van de eerste TIM – vakken in het 1<sup>e</sup> masterjaar bleek al snel dat dit het domein was waar mijn interesse naartoe ging. Ondertussen heb ik de beslissing genomen om in ditzelfde domein een doctoraat uit te voeren.

Alvorens over te gaan naar de voorstelling van de eindverhandeling, zou ik graag mijn dank willen betuigen aan alle actoren die mij, ondanks hun drukke agenda, geholpen hebben bij de realisatie van mijn eindwerk. Hierbij zou ik in eerste plaats dr. Tom Martens (Verisol) willen bedanken, dankzij hem is mijn economische analyse betrouwbaar en realistisch geworden. Verder zou ik ook geluidsspecialisten van het Agentschap Wegen en Verkeer Barbara Vanhooreweder, Peter Stulens en Stephane Peeters willen bedanken. Zij hebben mij onder andere geholpen bij het opstellen van een volledig overzicht over de regelgeving in verband met geluidsschermen. Ook heb ik dankzij hen inzage gekregen in documenten van een reeds uitgevoerde studie naar de introductie van fotovoltaïsche geluidsschermen in België. Ook zou ik graag de heer Thomas Vontobel van het Duitse bedrijf TNC Consulting AG bedanken. Zowel telefonisch als per mail heeft hij vanuit zijn jarenlange ervaring vele algemene vragen kunnen beantwoorden in verband met fotovoltaïsche geluidsbarrières. Ik wil ook graag Kristoff van Rattinche (3E), Stefan Dewallef (Soltech) en Roeland Engelen (Limburgse Reconvertiemaatschappij) bedanken voor de tijd die zij hebben vrijgemaakt om mijn economische analyse te beoordelen. Tenslotte wens ik mijn co – promotor, prof. Dr. Theo Thewys en mijn promotor, prof. Dr. Jean Manca te bedanken. Zij stonden gedurende het hele jaar voor mij klaar om al mijn vragen te beantwoorden.

Ik hoop dat het lezen van mijn eindverhandeling, die een hele hoop informatie over het relatief nieuwe concept van fotovoltaïsche geluidsschermen gestructureerd samenbrengt, een meerwaarde kan bieden voor diegenen die het lezen. Meer specifiek denk ik hierbij aan private investeerders, die geïnteresseerd zijn in PV – projecten en aan de overheid, die niet alleen om de economische maar ook om de ecologische baten van fotovoltaïsche geluidsschermen geeft.

Veel leesplezier,

Ellen De Schepper

# Samenvatting

Momenteel bedraagt de jaarlijkse energieconsumptie wereldwijd meer dan 16TW ( $16 * 10^{12}W$ ). De laatste jaren wordt steeds meer aandacht besteed aan de energieproblematiek die hiermee gepaard gaat. Zo denken we bijvoorbeeld aan de uitstoot van koolstofdioxide en het fenomeen van piekolie. De bewustwording van de energieproblematiek leidt wereldwijd tot een grote motivatie om op zoek te gaan naar oplossingen. Jammer genoeg bestaat er momenteel geen enkele hernieuwbare energiebron die de energievoorziening zelfstandig op zich kan nemen, alle opties zullen in combinatie moeten worden benut. Een mogelijke kandidaat hiervoor is fotovoltaïsche(PV) - energie opgewekt met behulp van de zon. PV – systemen kunnen gebruikt worden in een heel aantal toepassingsgebieden. Een probleem dat zich hierbij stelt, is dat de beschikbare oppervlakte voor het plaatsen ervan beperkt is. Het zou daarom nuttig kunnen zijn om dergelijke systemen uit te breiden naar “verloren” oppervlakten, zoals bijvoorbeeld stroken langs autowegen en spoorwegen. Dit brengt ons bij een innovatieve toepassing van een netgekoppeld PV - systeem, namelijk een fotovoltaïsch – geluidsscherm. Bij dergelijke schermen worden PV – panelen gemonteerd op of geïntegreerd in een geluidsscherm, dat je typisch kan terugvinden langs drukke wegen zoals spoorwegen of autosnelwegen.

Fotovoltaïsche geluidsbarrières of “photovoltaic noise barriers” (PVNB’s) zijn voor het eerst geïntroduceerd in Zwitserland in 1989. Op dit moment (2010) is in Europa een totale capaciteit aan PVNB’s geïnstalleerd van 3113,6kWp, waarmee ongeveer 700 gezinnen van groene stroom voorzien kunnen worden. Hiervan is het grootste deel terug te vinden in Duitsland, gevolgd door Italië, Zwitserland, Nederland, Oostenrijk en Frankrijk. In België is tot op de dag vandaag nog geen fotovoltaïsche geluidsbarrière terug te vinden.

Bij de allereerste PVNB werden de panelen bovenop de geluidsbarrière gemonteerd, waarnaar gerefereerd wordt als de “top – mounted” structuur. Ondertussen bestaan er verschillende technologieën, waaronder de shingle technologie, oost – west verticale schermen, zig – zag technologie en cassette – technologie. Ook bestaan er momenteel bifaciale cellen, lichtgevoelige zonnecellen die verticaal in noord – zuid richting geïnstalleerd kunnen worden en zo evenveel zouden opbrengen als een standaardmodule in een optimale zuidelijke oriëntatie. Verder tonen case studies aan dat het mogelijk is om PV – panelen te oriënteren zowel weggedraaid van de weg als naar de weg toe. Dit alles in overweging genomen, kunnen we stellen dat mits een kleine opoffering in opbrengst van de zonnepanelen, fotovoltaïsche geluidsschermen geplaatst kunnen worden langs elke weg onafhankelijk van haar oriëntatie. Wanneer alle spoorwegen en alle snelwegen in Europa voorzien zouden worden van PV, zou dat leiden tot een theoretisch potentieel van ongeveer

100 000MWp, waarmee ongeveer 20 miljoen gezinnen van groene stroom zouden voorzien kunnen worden. In ons land bedraagt het theoretisch potentieel ongeveer 3000MWp.

Indien we in België willen overgaan tot de constructie van PVNB's, dient rekening gehouden te worden met de opgelegde regelgeving. Om een zo volledig mogelijk overzicht te kunnen geven van deze ingewikkelde materie werd contact opgenomen met geluidsspecialisten Barbara Vanhooreweder, Peter Stulens en Stephane Peeters van het agentschap Wegen en Verkeer. We kunnen stellen dat de regelgeving omtrent plaatsing van geluidsschermen heel uitgebreid is in ons land. Echter, wat betreft fotovoltaïsche geluidsschermen is niets specifiek terug te vinden in de wetgeving, wel dienen deze schermen te voldoen aan de standaardregels opgelegd voor plaatsing van conventionele geluidsschermen. Verder hebben bovengenoemde vakmensen bevestigd dat het toegelaten is om dergelijke constructies in België te plaatsen, bijvoorbeeld onder de vorm van een publiek private samenwerking waarbij de overheid eigenaar zou zijn van het geluidsscherm en een private investeerder de investering zou doen in het PV – gedeelte. Dit is tevens de meest voorkomende gang van zaken met betrekking tot de constructie van fotovoltaïsche geluidsschermen in Duitsland en Nederland.

Plaatsing van een PVNB brengt zowel economische als ecologische voordelen met zich mee. Bij de ecologische baten denken we vooreerst aan de CO<sub>2</sub> – uitstoot die vermeden kan worden dankzij de opwekking van hernieuwbare energie. Een tweede ecologische baat is de vermindering van geluidsoverlast voor omwonenden van het scherm. Om een zicht te krijgen over de totale waarde van een fotovoltaïsche geluidsbarrière werd in deze eindverhandeling een kosten – batenanalyse (CBA) opgesteld waarin beide bovengenoemde ecologische baten worden uitgedrukt in monetaire termen.

De praktijkstudie in deze eindverhandeling betreft een fotovoltaïsch geluidsscherm langs de E313 ter hoogte van Tuilt (Hasselt). Op deze locatie worden in 2012 sowieso geluidsschermen geplaatst; echter in deze eindverhandeling werd een CBA gemaakt alsof het een fotovoltaïsch geluidsscherm zou worden. De analyse werd opgesteld met de hulp van PV – specialist dr. Tom Martens, zaakvoerder van Verisol. De resultaten van deze CBA geven aan dat de investering in het PV gedeelte op zich (ook zonder rekening te houden met ecologische baten) rendabel is, met een NCW van €249 223. De NCW van het conventioneel geluidsscherm is negatief wanneer het geluidsscherm bekeken wordt over 20 jaar, maar wordt positief op 25 jaar bekeken. Hieruit kunnen we afleiden dat de economische kost van het plaatsen van een geluidsscherm terugverdiend zou kunnen worden dankzij de ecologische baat van geluidsvermindering, die tot uiting komt in een stijging van de huizen- en grondprijzen. Ook de investering in het gehele fotovoltaïsch geluidsscherm zou

maatschappelijk bekeken rendabel zijn met een NCW van €137 816, op voorwaarde dat de ecologische baten mee in rekening worden gebracht. Om rekening te houden met de onzekerheid betreffende de getalwaarde van sommige determinanten opgenomen in de CBA, werd in deze eindverhandeling tevens een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij werd gebruik gemaakt van Monte Carlo simulaties, met behulp van Crystal Ball. Deze simulaties tonen aan dat investeren in enkel het PV – gedeelte met 100% zekerheid rendabel zou zijn. Investeren in het conventioneel geluidsscherm heeft een kans van 54,16% om een positieve netto contante waarde (NCW) te bekomen. Voor investering in het gehele fotovoltaïsche geluidsscherm (inclusief ecologische baten) bedraagt dit percentage 90,59%.

De afgewerkte economische analyse werd overlopen met een aantal ervaren stakeholders, waaronder Kristoff van Rattinche van het studiebureau 3E, PV –specialist Stefan Dewallef van Soltech en Roeland Engelen van de Limburgse Reconvertiemaatschappij. Zij hebben bevestigd dat de analyse realistisch is, hoewel de veronderstellingen eerder aan de voorzichtige kant zijn.

# Inhoudsopgave

Woord vooraf .....	2
Samenvatting.....	3
Lijst van figuren .....	9
Lijst van tabellen.....	11
1 Hoofdstuk 1: Probleemstelling .....	- 1 -
1.1 Praktijkprobleem: hernieuwbare energie en PV- geluidsschermen .....	- 1 -
1.1.1 Energie- en klimaatproblematiek .....	- 1 -
1.1.2 Fotovoltaïsche energie .....	- 5 -
1.2 Centrale onderzoeksvraag.....	- 7 -
1.3 Deelvragen.....	- 7 -
1.4 Onderzoeksofzet.....	- 9 -
1.4.1 Aanpak van het onderzoek.....	- 9 -
1.4.2 Overzicht van de eindverhandeling.....	- 10 -
2 Hoofdstuk 2 : Energievoorziening .....	- 11 -
2.1 Het probleem van de huidige energiemix.....	- 11 -
2.1.1 Uitstoot van koolstofdioxide (CO <sub>2</sub> ).....	- 11 -
2.1.2 Piekolie .....	- 13 -
2.2 Op zoek naar oplossingen .....	- 15 -
2.2.1 Zilveren kogel?.....	- 15 -
2.2.2 Energie – efficiëntie.....	- 15 -
2.2.3 Hernieuwbare energiebronnen.....	- 15 -
2.3 De zon, een veelbelovende kandidaat .....	- 17 -
2.3.1 Potentieel .....	- 17 -
2.3.2 Aandeel van zonne – energie in de globale energieproductie.....	- 17 -
2.3.3 PV in geluidsbarrières.....	- 20 -
3 Hoofdstuk 3: PV - geluidsbarrières.....	- 22 -
3.1 Voordelen .....	- 22 -
3.2 Huidige stand van zaken.....	- 24 -
3.2.1 Overzicht van de bestaande PVNB's.....	- 24 -

3.2.2	Mijlpalen in de evolutie van PVNB's.....	- 25 -
3.3	Aspecten van het design .....	- 31 -
3.3.1	Verschillende PVNB structuren .....	- 31 -
3.3.2	Technische specificaties .....	- 32 -
3.4	Potentieel van PVNB's in Europa.....	- 36 -
3.4.1	Theoretisch potentieel (CH, D, I, F, NL, UK).....	- 37 -
3.4.2	Technisch potentieel (CH, D, I, F, NL, UK).....	- 38 -
3.4.3	Korte termijn potentieel (CH, D, I, F, NL, UK) .....	- 38 -
3.4.4	Potentieel van andere lidstaten binnen de EU.....	- 39 -
3.4.5	Bespreking .....	- 43 -
3.5	Geluidsschermen.....	- 48 -
3.5.1	Gebruikte eenheden en grootheden.....	- 48 -
3.5.2	Werking en effect van een geluidswerend scherm.....	- 49 -
3.5.3	Regelgeving .....	- 50 -
4	Hoofdstuk 4 Case study: Fotovoltaïsche geluidsbarrière in België .....	- 55 -
4.1	Locatie .....	- 55 -
4.2	Technische aspecten van het geluidsscherm .....	- 56 -
4.3	Kosten – batenanalyse (CBA) .....	- 58 -
4.3.1	Gegevens PV – gedeelte .....	- 58 -
4.3.2	Gegevens geluidsscherm .....	- 62 -
4.3.3	NCW, TVT en IRR van de investering.....	- 68 -
4.3.4	Monte – Carlo simulatie .....	- 70 -
5	Hoofdstuk 5: Conclusies .....	- 77 -
5.1	Overzicht van de antwoorden op de deelvragen.....	- 77 -
5.2	Bespreking met relevante stakeholders.....	- 84 -
5.2.1	Interview met Kristoff Van Rattinhe (3E) .....	- 84 -
5.2.2	Interview met Peter Stulens (geluidsspecialist Agentschap Wegen en Verkeer) .....	- 86 -
5.2.3	Interview met Stefan Dewallef (Soltech).....	- 87 -
5.2.4	Interview met Roeland Engelen (Limburgse Reconvertiemaatschappij) .....	- 89 -
5.3	SWOT – analyse .....	- 91 -
5.4	Aanbevelingen.....	- 92 -
5.4.1	Aanbevelingen aan de overheid .....	- 92 -
5.4.2	Aanbevelingen aan de privé sector .....	- 93 -
6	Lijst van geraadpleegde werken.....	- 95 -



6.1	Referenties hoofdstuk 1 .....	- 95 -
6.2	Referenties hoofdstuk 2 .....	- 96 -
6.3	Referenties hoofdstuk 3 .....	- 97 -
6.4	Referenties hoofdstuk 4 .....	- 99 -
7	Bijlagen .....	- 102 -
7.1	Bijlage 1: beïnvloedende factoren op de mate van afzwakking van het geluid door een geluidsscherm.....	- 102 -
7.2	Bijlage 2: Mobiliteitsconvenant (1996) .....	- 105 -
7.3	Bijlage 3: Mobiliteitsconvenant module 5: schermen en/of gronddammen langs een gewestweg, die het wegverkeerslawaai verminderen.....	- 108 -
7.4	Bijlage 4: Positie en afmetingen van de geluidsschermen langs de E313.....	- 112 -
7.5	Bijlage 5: Schematische voorstelling van fotovoltaïsche geluidsschermen (front – mounted structuur).....	- 113 -
7.6	Bijlage 6: Geluidskaarten $L_{day}$ , voor en na plaatsing van de geluidsschermen.....	- 117 -
7.7	Bijlage 7: Geluidskaarten $L_{night}$ , voor en na plaatsing van de geluidsschermen .....	- 118 -
7.8	Bijlage 8: Kadasterplan zone geluidsscherm E313, Tuilt (Hasselt) .....	- 119 -
7.9	Bijlage 9: Resultaten Monte Carlo Simulatie.....	- 120 -
7.9.1	Monte Carlo simulatie PV exclusief ecologische baat.....	- 120 -
7.9.2	Monte Carlo simulatie PV inclusief ecologische baat.....	- 121 -
7.9.3	Monte Carlo simulatie geluidsscherm inclusief ecologische baat.....	- 122 -
7.9.4	Monte Carlo simulatie PVNB inclusief ecologische baten.....	- 123 -
7.10	Bijlage 10: Bepaling potentieel België volgens Goetzberger en volgens eigen veronderstellingen .....	- 124 -
7.11	Bijlage 11: CBA case study E313, Tuilt (Hasselt).....	- 125 -

# Lijst van figuren

Figuur 1. 1 Evolutie van het binnenlands energieverbruik in Vlaanderen per energiedrager uitgedrukt in PJ = 1015J (VITO, 2006) .....	- 1 -
Figuur 1. 2 Vergelijking van het primair energieverbruik per capita van EU – landen in 2005 (VMM, 2007).....	- 2 -
Figuur 1. 3 Het aandeel van hernieuwbare energie in het bruto elektriciteitsgebruik van de EU-27 landen in 2005 en indicatieve doelstellingen 2010 (VMM, 2007) .....	- 4 -
Figuur 1. 4 Energie output (miljoen kWh per hectare) en kost (cent per kWh) van de energie geproduceerd van 1 hectare grond voor verschillende hernieuwbare energiebronnen (ARUNACHALAM, FLEISCHER, 2008) .....	- 5 -
Figuur 1. 5 Historische en geprojecteerde kosten voor PV – modules (\$/MWp) versus cumulatieve productie (MWp) (GINLEY et al, 2008) .....	- 6 -
Figuur 2. 1 Olieproductie, klokvormig verloop (BARDI, 2009) .....	- 13 -
Figuur 2. 2 Productie uit hernieuwbare bronnen (JOHNSON, 2009) .....	- 17 -
Figuur 2. 3 Productiekost van elektriciteit in 2001, uitgesplitst naar verschillende energiebronnen (LEWIS, 2007) .....	- 19 -
Figuur 2. 4 Innovaties en snelle stijging van de efficiëntie van opkomende zonnecellen (KHAN et al, 2008).....	- 19 -
Figuur 2. 5 Cumulatief geïnstalleerde PV - powergeneratiecapaciteit in functie van de tijd (KHAN et al, 2008).....	- 20 -
Figuur 3. 1 PVNB in Domat/Ems, Zwitserland .....	- 25 -
Figuur 3. 2 PVNB in Giebenaach, Zwitserland .....	- 26 -
Figuur 3. 3 PVNB langs de A9, Nederland .....	- 27 -
Figuur 3. 4 Freising, 500kWp geluidsbarrière met keramisch gebaseerde PV – modules (GROTTKE et al, z.d.) .....	- 27 -
Figuur 3. 5 Ammersee Fabrisolar, cassette technologie .....	- 28 -
Figuur 3. 6 Ammersee Zueblin, links, met shingle technologie.....	- 29 -
Figuur 3. 7 Ammersee DLW Metecno, zig - zag technologie.....	- 29 -
Figuur 3. 8 Zürich Wallisellen met zig-zag technologie .....	- 30 -
Figuur 3. 9 Zürich Bruettisellen met verticale cassette technologie .....	- 30 -
Figuur 3. 10 Zürich Aubrugg met "bifacial" technologie .....	- 30 -

Figuur 3. 11 Duitsland Aschaffenburg PV - overdekte snelweg .....	- 31 -
Figuur 3. 12 Verschillende PVNB structuren (GOETZBERGER, 1999) .....	- 32 -
Figuur 3. 13 Yield van bifaciale versus conventionele zonnecellen (www.tnc.ch).....	- 32 -
Figuur 3. 14 Alle mogelijke oriëntaties van PV – schermen en wegen (GOETZBERGER, 1999)-	33 -
Figuur 3. 15 Oriëntatie, inclinatiehoek en opbrengst van PVNB's .....	- 35 -
Figuur 3. 16 PVNB in Freising langs achter bekeken (GROTTKE et al, z.d.) .....	- 36 -
Figuur 3. 17 Onderscheid tussen 3 verschillende potentiëlen (GOETZBERGER, 1999).....	- 37 -
Figuur 3. 18 Theoretisch potentieel van verwacht geïnstalleerd vermogen voor PVNB's in Zwitserland, Duitsland, Frankrijk, Italië, Nederland en Engeland (GOETZBERGER, 1999).....	- 37 -
Figuur 3. 19 Technisch potentieel van het verwacht geïnstalleerd vermogen voor PVNB's in Zwitserland, Duitsland, Frankrijk, Italië, Nederland en Engeland (GOETZBERGER, 1999).....	- 38 -
Figuur 3. 20 Europees geëxtrapoleerd potentieel van het verwacht geïnstalleerd vermogen in Zwitserland, Duitsland, Frankrijk, Italië, Nederland en Engeland (GOETZBERGER, 1999).....	- 39 -
Figuur 3. 21 Fluctuerend geluidsniveau en continu equivalent geluidsniveau (wegen.vlaanderen.be)..	48 -
Figuur 3. 22 Werking van een geluidsscherm (voor een ontvanger op korte afstand) (wegen.vlaanderen.be) .....	- 49 -
Figuur 3. 23 Financiële tegemoetkoming van de lokale overheid in functie van het gemeten geluidsniveau (VANHOOREWEDER, 2006) .....	- 53 -
Figuur 4. 1 Locatie geluidsscherm, langs de E313 ter hoogte van Tuilt (Hasselt) (VANHOOREWEDER)..	56 -
Figuur 4. 2 Voorstel tot ontwerp van het fotovoltaïsch geluidsscherm langs de E313, Tuilt (Hasselt) ...	57 -
Figuur 4. 3 Geluidskaart $L_{den}$ voor plaatsing van de schermen.....	- 65 -
Figuur 4. 4 Geluidskaart $L_{den}$ na plaatsing van de schermen .....	- 66 -
Figuur 4. 5 Verschilkaart in geluidsniveau voor en na plaatsing van de schermen .....	- 67 -
Figuur 4. 6 Verdeling NAW PV exclusief ecologische baat.....	- 72 -
Figuur 4. 7 Sensitivity chart NAW PV exclusief ecologische baat.....	- 74 -
Figuur 4. 8 Relatie tussen de sensitiviteit van een voorspelde waarde en de onzekerheid toegekend aan een assumptie / sensitiviteit van het model .....	- 75 -

# Lijst van tabellen

Tabel 2. 1 Waarschijnlijke temperatuurstijging bij gegeven CO <sub>2</sub> – concentraties (NOELS, 2008).....	- 13 -
Tabel 2. 2 Gemiddelde CO <sub>2</sub> - emissie gedurende de volledige levenscyclus van verschillende energiebronnen (ABRUNACHALAM, FLEISCHER, 2008) .....	- 16 -
Tabel 3. 1 Overzicht PVNB's in Europa .....	- 24 -
Tabel 3. 2 Bepaling van het potentieel van België, Denemarken, Griekenland, Ierland, Luxemburg, Portugal en Spanje (GOETZBERGER, 1999) .....	- 40 -
Tabel 3. 3 Veronderstellingen met betrekking tot bepaling van het theoretisch potentieel van PVNB's in België .....	- 42 -
Tabel 3. 4 Vergelijking theoretisch potentieel volgens eigen berekening en volgens studie Goetzberger.....	- 42 -
Tabel 3. 5 Overzicht potentieel Zwitserland, Duitsland, Nederland, Engeland, Italië en Frankrijk (uitgedrukt in MWp).....	- 46 -
Tabel 3. 6 Aandeel van de PVNB - potentiëlen in de nationale energiesector in Zwitserland, Duitsland, Nederland, Engeland, Italië en Frankrijk (GOETZBERGER, 1999) .....	- 47 -
Tabel 3. 7 Richtwaarden en maximale waarden vastgelegd in Koninklijk Besluit 1991 (KB 91) en Ontwerptekst 1997 (VK 97) (Interview Vanhooreweder) .....	- 52 -
Tabel 4. 1 Vergoeding groenestroomcertificaten ( <a href="http://www.zonnepanelenbelgie.be">www.zonnepanelenbelgie.be</a> ).....	- 60 -
Tabel 4. 2 Overzicht resultaten NCW, TVT en IRR van het PV - gedeelte.....	- 68 -
Tabel 4. 3 Overzicht resultaten NCW, TVT en IRR van het geluidsscherm (rekening houdend met de ecologische baat van geluidsvermindering).....	- 69 -
Tabel 4. 4 Overzicht resultaten NCW, TVT en IRR van de gehele PVNB (rekening houdend met de ecologische baten van geluidsvermindering en vermijden van CO <sub>2</sub> - uitstoot).....	- 70 -
Tabel 4. 5 Veronderstellingen van het model .....	- 70 -
Tabel 4. 6 Statistieken NAW PV exclusief ecologische baat.....	- 73 -
Tabel 4. 7 Overzicht van de range toegekend aan de variabelen gebruikt in de simulatie .....	- 75 -

# Hoofdstuk 1: Probleemstelling

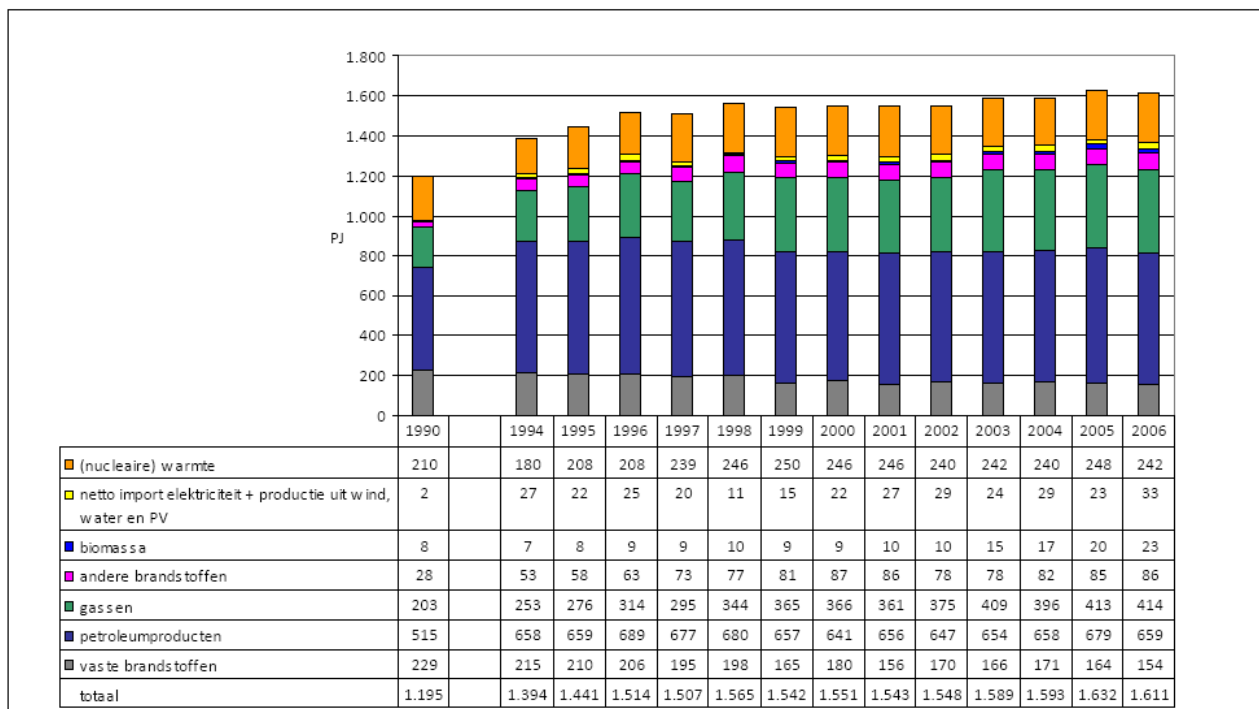
In dit inleidend hoofdstuk zal het centrale praktijkprobleem van deze masterproef betreffende hernieuwbare energie en PV – geluidsschermen geschetst worden. Dit praktijkprobleem geeft aanleiding tot een centrale onderzoeksvraag en een aantal bijhorende deelvragen. Het hoofdstuk zal afsluiten met een overzicht van de onderzoeksopzet van de eindverhandeling.

## 1.1 Praktijkprobleem: hernieuwbare energie en PV- geluidsschermen

### 1.1.1 Energie- en klimaatproblematiek

Het energieverbruik in Vlaanderen is de afgelopen jaren enorm gestegen. Dit blijkt uit een eindrapport dat eind 2006 gepubliceerd werd door de VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek)<sup>[1.1]</sup>.

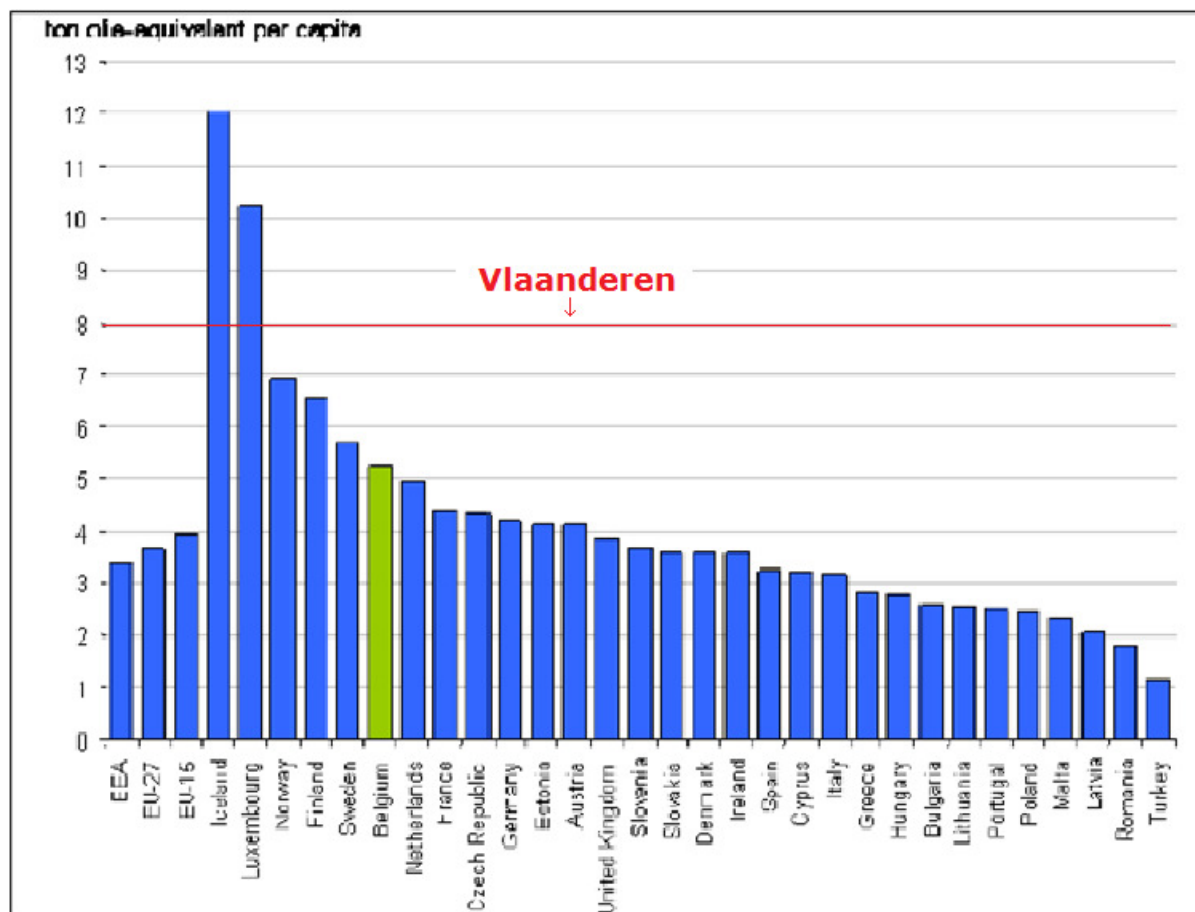
Figuur 1. 1 Evolutie van het binnenlands energieverbruik in Vlaanderen per energiedrager uitgedrukt in PJ = 10<sup>15</sup>J (VITO, 2006)



Ten opzichte van 1990 is in 2006 het bruto binnenlands energieverbruik in Vlaanderen gestegen met 34,8%<sup>[1.1]</sup>. Een veelgebruikte indicator voor de internationale vergelijking van het energieverbruik is “het totaal of primair energieverbruik per capita”, wat kan worden uitgedrukt in de eenheid “ton olie

– equivalent”<sup>1</sup>. Vlaanderen werd in 2005 gekenmerkt door een indicatorwaarde van 8 ton olie – equivalent per inwoner. Wanneer we dit situeren op figuur 1.2, die data bevat over het primaire energieverbruik van verschillende Europese landen, zien we dat deze waarde hoog is ten opzichte van België (aangeduid in het groen) en de meeste andere Europese lidstaten<sup>[1.2]</sup>.

Figuur 1. 2 Vergelijking van het primair energieverbruik per capita van EU – landen in 2005 (VMM, 2007)



Het fenomeen van een stijgend energieverbruik beperkt zich niet enkel tot Vlaanderen. Via enkele beschouwingen, gebaseerd op de toename van de wereldbevolking enerzijds en de verwachte toename van het energiegebruik per capita voor het grootste deel van de wereld anderzijds, heeft men afgeschat dat het globale energiegebruik in de tweede helft van deze eeuw ongeveer een factor drie hoger zal liggen dan vandaag<sup>[1.3]</sup>.

Deze energie komt voor het grootste deel voort uit fossiele (kolen, gas, olie) of nucleaire brandstoffen, wat heel wat gevolgen met zich meebrengt. Door het gebruik van fossiele brandstoffen stijgt de concentratie van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) in de atmosfeer. Dit is één van de belangrijkste oorzaken van de versterking van het broeikaseffect<sup>[1.4]</sup>. Gedurende de laatste 200 jaar is de CO<sub>2</sub> -concentratie in de atmosfeer gestegen met eenzelfde hoeveelheid als gedurende de laatste 20 000

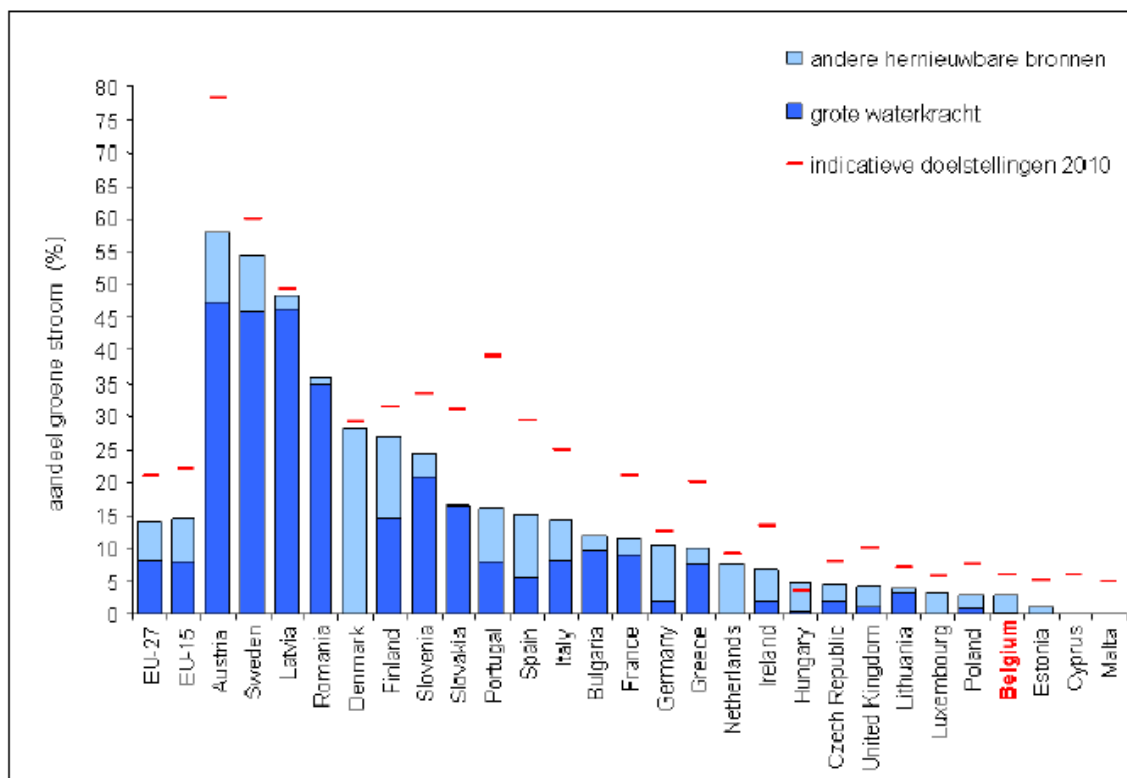
<sup>1</sup> 1 ton olie – equivalent (t.o.e.) = 42 \* 10<sup>9</sup>J = 42GJ <sup>[1.3]</sup>

jaar<sup>[1.3]</sup>. Bepaalde scenario's geven aan dat in de 21<sup>e</sup> eeuw de gemiddelde temperatuur op aarde verder zal toenemen met 1,4 tot 5,8°C. Dit brengt met zich mee dat ijskappen en gletsjers verder zullen afsmelten, waardoor het niveau van de zeespiegel 9 tot 88 centimeter zou stijgen. Verder wordt voorspeld dat er zich veel grotere extremen zullen voordoen in het weerbeeld, zoals hittegolven, droogte, overstromingen en orkanen. We kunnen dus stellen dat fossiele brandstoffen nadelige effecten hebben op zowel het klimaat als op het milieu<sup>[1.5]</sup>. Een bijkomend nadeel van fossiele brandstoffen is dat deze nog slechts in beperkte hoeveelheid beschikbaar zijn, hierop zal dieper worden ingegaan in hoofdstuk 2.

Om deze nadelige effecten te temperen, worden er heel wat sporen gevolgd zodat de emissies beperkt zouden blijven. We denken hierbij aan energiebesparing, toepassing van schonere verbrandingsprocessen en het vervangen van fossiele brandstoffen door "hernieuwbare energiebronnen"<sup>[1.4]</sup>. Hernieuwbare energiebronnen worden gedefinieerd als "hernieuwbare niet fossiele energiebronnen, waaronder wind, zonne – energie, aardwarmte, golfenergie, getijde – energie, waterkracht, biomassa, stortgas, rioolwaterzuiveringgas en biogas"<sup>[1.6]</sup>. Met "hernieuwbare energie" worden de vormen van energie bedoeld waarvan het verbruik geen (of praktisch geen) invloed heeft op de beschikbaarheid ervan of waarbij de energie met dezelfde snelheid wordt aangevuld als verbruikt<sup>[1.3]</sup>.

In 2005 werd in België slechts 2,2% van de totale energieproductie opgewekt door hernieuwbare bronnen. Met dit lage percentage komt ons land eruit als een van de slechtste landen van Europa, wat duidelijk blijkt uit figuur 1.3<sup>[1.2]</sup>.

Figuur 1. 3 Het aandeel van hernieuwbare energie in het bruto elektriciteitsgebruik van de EU-27 landen in 2005 en indicatieve doelstellingen 2010 (VMM, 2007)



In 2001 legde de Europese Richtlijn 2001/77/EC ter bevordering van de elektriciteitsproductie uit hernieuwbare energiebronnen voor alle landen van de EU een indicatieve streefwaarde vast met betrekking tot het aandeel van de hernieuwbare energiebronnen in het bruto elektriciteitsgebruik van 2010. Deze doelstellingen zijn met rode streepjes aangeduid op bovenstaande figuur. Voor België is deze streefwaarde 6%, voor heel de EU 21%<sup>[1.2]</sup>. Vervolgens werden in 2007 doelen vastgelegd waarin het getal 20 centraal staat. In het jaar 2020 wordt 20% reductie in uitstoot van broeikasgassen beoogd, zou de energievoorziening 20% efficiënter moeten zijn en moeten hernieuwbare bronnen 20% van de Europese energievoorziening uitmaken<sup>[1.7]</sup>. Het vooropgestelde aandeel van België bedraagt hierin 13%<sup>[1.8]</sup>. In 2007 bedroeg dit aandeel 2,7%<sup>[1.16]</sup>.

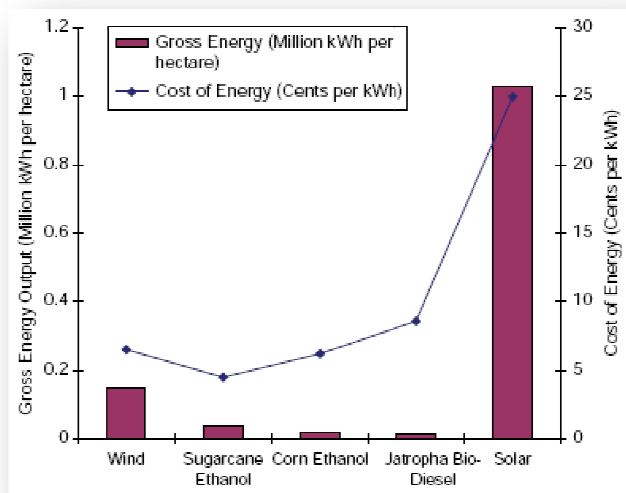
Er bestaat geen enkele hernieuwbare energiebron die de volledige energievoorziening zelfstandig op zich kan nemen, alle opties moeten in combinatie worden benut. Shell verwacht dat tegen 2060 zonne – energie, windenergie en biomassa de drie belangrijkste hernieuwbare energiebronnen zullen zijn<sup>[1.4]</sup>. Wereldwijd bekeken zou wind ons jaarlijks kunnen voorzien van 2-4 TW (TeraWatt = 10<sup>12</sup>W), biomassa van 5 TW en de zon zou 10 – 20 TW kunnen bijdragen<sup>[1.15]</sup>. Dit laatste zou in theorie voldoende kunnen zijn om de jaarlijkse behoefte aan energie over heel de wereld, 16 TW, te dekken<sup>[1.13]</sup>.



### 1.1.2 Fotovoltaïsche energie

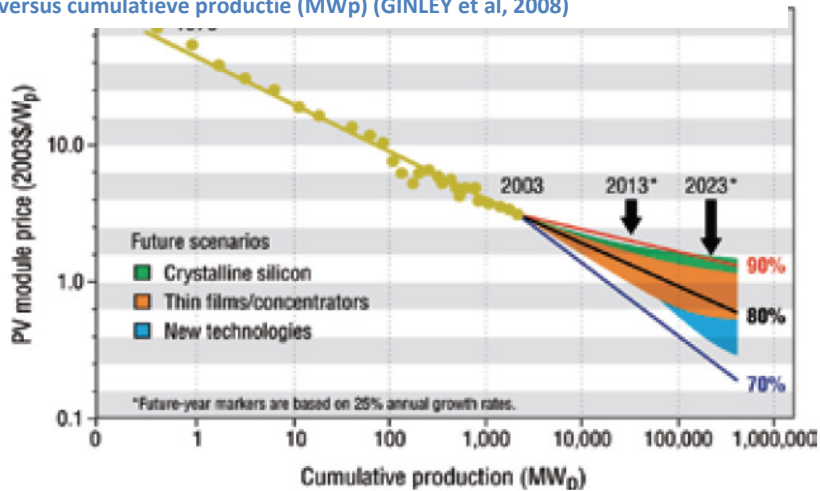
Wat betreft energie van de zon dient een onderscheid gemaakt te worden tussen twee verschillende toepassingen, namelijk het gebruik als warmtebron en het gebruik als lichtbron met omzetting van licht in elektrische energie. De potentieel meest aantrekkelijke manier voor het aanwenden van zonne – energie is de fotovoltaïsche (PV) omzetting. Hierbij wordt de energie van fotonen omgezet in energie van elektrisch geladen deeltjes, waardoor een potentiaalverschil ontstaat. Op deze manier kan elektrische energie opgewekt worden<sup>[1.3]</sup>. In het wetenschappelijke Amerikaanse tijdschrift “MRS Bulletin” werd in 2008 een artikel gepubliceerd waaruit bleek dat PV in Amerika duidelijk resulteerde in de hoogste energie – opbrengst per oppervlakte-eenheid in vergelijking met andere hernieuwbare energiebronnen. Jammer genoeg gaat dit hoge rendement gepaard met een hoge kost, wat duidelijk wordt weergegeven in figuur 1.4<sup>[1.10]</sup>.

h per hectare) en kost (cent per kWh)  
tare grond door verschillende  
ACHALAM, FLEISCHER, 2008)



De laatste jaren stijgt de productie van PV modules wereldwijd zeer snel. Dit zorgt ervoor dat de leercurve met betrekking tot PV – kosten (figuur 1.5) stijl naar beneden loopt<sup>[1.11]</sup>: bij een verdubbeling van het wereldwijd geaccumuleerd geproduceerd volume daalt de kost van PV met 20%, dankzij de combinatie van “scale learning” en “technology learning”. In onderstaande figuur worden tevens extrapolaties weergegeven voor toekomstige technologieën. Curven van 70, 80 en 90% zijn leercurven voor de technologie; hoe lager het percentage, hoe sneller het leereffect, hoe sneller de prijs daalt bij een stijging van de productie.

Figuur 1. 5 Historische en geprojecteerde kosten voor PV – modules (\$/MWp) versus cumulatieve productie (MWp) (GINLEY et al, 2008)



PV – systemen kunnen gebruikt worden in een heel aantal toepassingsgebieden. Grofweg kunnen we de verschillende toepassingen klasseren in drie categorieën: autonome systemen voor consumenten, autonome systemen voor professioneel gebruik en netgekoppelde PV – systemen voor gebouwen en andere constructies. Autonome zonnestroomsystemen zijn systemen los van het elektriciteitsnet waarbij gebruik gemaakt wordt van accu’s om de elektriciteit op te slaan. Typische voorbeelden van de autonome systemen voor consumenten zijn bijvoorbeeld tuinhuisjes, woonboten,... Het laten functioneren van openbare verlichting en praatpalen behoren tot de autonome systemen voor professioneel gebruik, die ook volledig los staan van het net. Netgekoppelde systemen daarentegen zijn steeds verbonden met het elektriciteitsnet. Een omvormer zorgt ervoor dat de geproduceerde gelijkspanning omgezet wordt in wisselspanning die rechtstreeks aan het net geleverd kan worden. Wanneer er meer elektriciteit verbruikt wordt dan het systeem produceert, wordt het tekort aangevuld vanuit het elektriciteitsnet. Indien echter het aanbod van zonnestroom groter is dan de vraag, kan de overschot geleverd worden aan het net.

## Probleemstelling: PV & ruimte

Een probleem dat zich stelt bij deze netgekoppelde PV - systemen, die bijvoorbeeld kunnen geplaatst worden op daken van particulieren, op industriegebieden,... is dat de beschikbare oppervlakte voor het plaatsen ervan beperkt is. Het zou daarom nuttig kunnen zijn om dergelijke systemen uit te breiden naar “verloren” oppervlakten, zoals bijvoorbeeld stroken langs autowegen en spoorwegen. Dit brengt ons bij een innovatieve toepassing van een netgekoppeld PV - systeem, namelijk een fofovoltaïsch – geluidsscherm<sup>[1,12]</sup>.

Bij een PV – geluidsscherm worden fofovoltaïsche panelen gemonteerd op of geïntegreerd in een geluidsscherm. Geluidswerende schermen kan je typisch terugvinden langs spoorwegen en ook langs

drukke wegen zoals bijvoorbeeld autostrades. Het integreren van PV – panelen in geluidsschermen heeft tal van voordelen. Het meest voor de hand liggend voordeel is dat één enkel geluidswerend scherm nu voor twee verschillende doeleinden gebruikt kan worden, namelijk voor het beschermen tegen geluidsoverlast en voor het plaatsen van PV - modules. Er kan dus met andere woorden hernieuwbare energie geproduceerd worden zonder dat daar additionele ruimte moet worden voorzien. Verder zijn er nog een heel aantal andere voordelen, hierop zal dieper worden ingegaan in hoofdstuk 3<sup>[1.9]</sup>.

PV – geluidsbarrières komen voor in verschillende landen (Frankrijk, Zwitserland, Duitsland, Nederland, Italië,...) <sup>[1.14]</sup>. In België is er tot op de dag van vandaag nog geen enkele dergelijke constructie terug te vinden. Het lijkt echter een interessante optie om deze veelbelovende schermen ook in ons land te introduceren. In het verdere verloop van deze thesis zal dan ook de economische en ecologische impact van PV - geluidsschermen van naderbij onderzocht worden.

## 1.2 Centrale onderzoeksvraag

Uit het praktijkprobleem volgt dat het noodzakelijk is dat we fossiele bronnen zo veel mogelijk vervangen door hernieuwbare energiebronnen, om zo schade aan milieu en klimaat te beperken en trachten de opgelegde doelstellingen tegen 2020 te halen. Het hoge rendement van PV in combinatie met zijn snel dalende kostprijs, maakt dat PV een interessante kandidaat is om bij te dragen tot een oplossing voor dit probleem. PV in geluidsschermen is een innovatieve mogelijkheid die ervoor zou kunnen zorgen dat de bijdrage van PV aan de totale energievoorziening stijgt, zonder aanspraak te maken op extra ruimte. De centrale onderzoeksvraag luidt als volgt:

<b>“Wat is de economische en de ecologische impact van PV in geluidsbarrières?”</b>
---

## 1.3 Deelvragen

Het is nuttig om eerst te kijken naar reeds gerealiseerde PV – geluidsbarrières in Europa. Hierbij is het de bedoeling om enerzijds een overzicht te krijgen over de reeds geïnstalleerde capaciteit en anderzijds een inzicht te verwerven in de technologische stand van zaken. Dit leidt tot een eerste deelvraag:

**“Wat is in Europa de huidige stand van zaken wat betreft PV – geluidsschermen?” (reeds geïnstalleerde capaciteit uitgedrukt in kWp + overzicht bestaande technologieën)**

Verder zouden we willen nagaan in welke mate deze schermen een bijdrage kunnen leveren aan de energievoorziening. We stellen dus ook de volgende vraag:

**“Wat is het potentieel van PV in geluidsbarrières in Europa en wat is het potentieel in België?”**

(potentieel uitgedrukt in MWp)

Indien we ook in België fotovoltaïsche panelen zouden willen integreren in geluidsschermen, moeten we nagaan of dit wel wettelijk is toegestaan en onder welke voorwaarden. Een antwoord is nodig op volgende deelvraag:

**“Wat is terug te vinden in de Belgische wetgeving in verband met PV in geluidsschermen?”**

**Wanneer we willen overgaan tot implementatie, is een relevante subvraag hierbij als volgt: “Laat de Belgische wetgeving privaat - publieke samenwerking toe voor PV in geluidsschermen langs autowegen en spoorwegen ?”**

Wat betreft het ecologische aspect, kunnen we ons afvragen wat het effect is van een (fotovoltaïsche) geluidsbarrière voor de omwonenden van dergelijk scherm. Immers, een geluidsscherm wordt geplaatst met als doel de omwonenden te beschermen tegen geluidsoverlast. Bij een economische analyse dient dus tevens rekening gehouden te worden met deze ecologische baat. Hiertoe zal in deze thesis getracht worden de ecologische baten van geluidsschermen te monetariseren<sup>2</sup>. Een eerste deelvraag die het ecologische en economische aspect aan elkaar koppelt, klinkt dan ook als volgt:

**“Wat is het effect van een (fotovoltaïsch) geluidsscherm voor de omwonenden**

- **uitgedrukt in dB (ecologisch)?**
- **uitgedrukt in stijging van de waarde van huizenprijzen en grondprijzen (economisch)?”**

Hierbij dient rekening gehouden te worden met de afstand tot het geluidsscherm; iemand die vlakbij een scherm woont zal er meer effect van ondervinden dan iemand die verder woont.

Een volgend ecologisch aspect waar rekening mee zal worden gehouden, betreft de uitstoot van CO<sub>2</sub> die vermeden kan worden dankzij de opwekking van deze fotovoltaïsche energie. Met behulp van wetenschappelijke literatuur zal ook bij deze deelvraag getracht worden om de ecologische baat uit te drukken in monetaire termen. Dit brengt ons bij volgende deelvraag:

**“Hoeveel CO<sub>2</sub> - uitstoot kan vermeden worden dankzij de energieopwekking met behulp van het fotovoltaïsch geluidsscherm**

- **uitgedrukt in ton CO<sub>2</sub> (ecologisch)?**

---

<sup>2</sup> Monetariseren = uitdrukken in geldelijke termen

- **uitgedrukt in euro (economisch)?”**

Wanneer deze theoretische aspecten onderzocht zijn, kunnen we overgaan tot een toetsing ervan aan de hand van een eventuele praktijkstudie in België. De praktijkstudie zal gaan over de geluidsschermen langs de autosnelweg E313 ter hoogte van Tuilt (Hasselt) (tegenover de abdij van Herkenrode) die in 2012 geplaatst zullen worden. Voorlopig wordt ervan uitgegaan dat dit “conventionele” geluidsschermen zullen zijn, maar in deze thesis zal een economische analyse uitgevoerd worden van dit project alsof het een fotovoltaïsche geluidsbarrière zou worden. Hiertoe is het noodzakelijk dat we een zo volledig mogelijk overzicht krijgen van alle kosten en baten die gepaard gaan met dit PV – geluidsscherm. We stellen dus ook volgende deelvraag:

**Case study: “Is de investering in een PV – geluidsbarrière langs de autosnelweg E313 in België rendabel?” (beoordeling aan de hand van TVT, NPV en IRR)**

Een overzicht en kennis van al deze deelvragen, brengt ons tenslotte bij een algemene, lange termijn outlook – vraag:

**Outlook-vraag : “Is systematische implantatie van PV langs autowegen (“solar highways”) en spoorwegen, al dan niet gecombineerd met geluidsschermen, een realistische route voor grootschalige fotovoltaïsche energie - generatie (alternatief concept voor PV - centrales) ?”**

## **1.4 Onderzoekopzet**

### **1.4.1 Aanpak van het onderzoek**

Deze eindverhandeling zal starten met een kritische literatuurstudie. Het is de bedoeling om aan de hand van betrouwbare, wetenschappelijke bronnen een zo volledig mogelijk antwoord te geven op de onderzoeksvragen. Hierbij zal informatie gezocht worden onder andere via de online bib van de Universiteit Hasselt en andere beschikbare vakliteratuur.

Verder zal ik trachten de algemene concepten te toetsen aan de hand van een praktijkstudie in Vlaanderen, namelijk een eventuele fotovoltaïsche geluidsbarrière langs de E313 tegenover de abdij van Herkenrode ter hoogte van de woonwijk Tuilt (Hasselt). Deze gevalstudie zal helpen een inzicht geven in zowel economische als ecologische aspecten van PV in geluidsbarrières.

Om de eindverhandeling tot een goed einde te brengen, zal het noodzakelijk zijn om samen te werken met vakmensen. Hierbij denken we vooreerst aan geluidsspecialisten, zoals de heer Peter Stulens (Agentschap van Wegen en Verkeer Limburg), de heer Stephane Peeters (Agentschap van Wegen en Verkeer Antwerpen) en mevrouw Barbara Vanhooreweder (Agentschap van Wegen en

Verkeer Brussel). Vervolgens zal ook contact worden opgenomen met PV – specialisten. Zo zal dr. Tom Martens (zaakvoerder van Verisol) helpen bij het opstellen van de economische analyse. Ook zullen interviews afgenomen worden van PV – specialisten Stefan Dewallef (Soltech) en Kristoff Van Rattinche (studiebureau 3E). Tenslotte zal ook de kritische mening gevraagd worden van een eventueel investerend bedrijf in Vlaanderen. Hiertoe zal een interview afgenomen worden met de heer Roeland Engelen, hoofd van Cleantech & Energy bij de Limburgse Reconversie maatschappij.

#### **1.4.2 Overzicht van de eindverhandeling**

In hoofdstuk 2 van deze eindverhandeling wordt dieper in gegaan op de huidige energievoorziening, de problemen die daarmee gepaard gaan en mogelijke oplossingen hiervoor, waaronder fotovoltaïsche zonne-energie. Een innovatieve manier om het aandeel van PV in de totale energievoorziening te verhogen zonder daarbij aanspraak te maken op extra ruimte, is een fotovoltaïsch geluidsscherm. Dit brengt bij ons bij hoofdstuk 3, dat dieper zal ingaan op een overzicht van literatuur in verband met PV – geluidsbarrières. In dit hoofdstuk zal getracht worden een antwoord te geven op volgende onderzoeksvragen, die allemaal betrekking hebben op PV - geluidsschermen: wat is de huidige stand van zaken in Europa (capaciteit + bestaande technologieën), hoeveel bedraagt het potentieel in Europa en wat is erover terug te vinden in de Belgische wetgeving? In hoofdstuk 4 vervolgens zal dieper worden ingegaan op een praktijkstudie, namelijk een eventueel allereerste fotovoltaïsch geluidsscherm dat in België geplaatst zou worden in 2012 langs de E313 ter hoogte van Tuilt (Hasselt). In dit hoofdstuk kan je het antwoord terugvinden op volgende deelvragen: hoeveel bedraagt de vermeden uitstoot koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en wat is het effect van het geluidsscherm voor de omwonenden? Beide deelvragen zullen worden uitgedrukt in zowel ecologische als economische termen. In dit vierde hoofdstuk zal tevens de rendabiliteit van de case study worden behandeld. Een overzicht van het antwoord op al deze deelvragen is terug te vinden in hoofdstuk 5. In dit hoofdstuk zullen tevens relevante stakeholders aan het woord worden gelaten en wordt ondermeer de outlookvraag in verband met “solar highways” behandeld. Vervolgens wordt in ditzelfde hoofdstuk overgegaan tot een kritische SWOT – analyse, waarin de sterke punten, de zwakke punten, de mogelijkheden en bedreigingen van PV – geluidsschermen kort worden samengevat. De eindverhandeling zal afsluiten met enkele aanbevelingen naar de overheid en naar bedrijven toe.

# Hoofdstuk 2 : Energievoorziening

Dit hoofdstuk behandelt het onderwerp van de huidige energievoorziening en de bijhorende problemen. Er wordt tevens dieper ingegaan op het zoeken naar mogelijke oplossingen, waaronder het opwekken van fotovoltaïsche zonne – energie. Het hoofdstuk sluit af met een korte inleiding over een innovatieve manier om het aandeel van PV in de totale energievoorziening te verhogen, namelijk PV in geluidsschermen.

## 2.1 Het probleem van de huidige energiemix

In onze dagdagelijkse bezigheden staan we er vaak niet bij stil, maar een betrouwbare, propere, betaalbare energievoorziening zal de komende eeuw een zeer grote uitdaging vormen<sup>[II.2]</sup>. Immers, de huidige energiemix is onlosmakelijk verbonden met een aantal problemen, waaronder de uitstoot van koolstofdioxide enerzijds, en het fenomeen van piekolie anderzijds.

### 2.1.1 Uitstoot van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>)

In 2001 bedroeg de wereldwijde energieconsumptie 13 terawatt (TW) of  $13 \cdot 10^{12}$ W. Hiervan werd ongeveer 85% door fossiele bronnen geproduceerd. Hernieuwbare energie leverde een bijdrage van slechts 2,2%<sup>[II.4]</sup>. In 2006 werd in totaal 16 TW geconsumeerd en er wordt voorspeld dat in 2020 de wereldwijde consumptie van energie 20 TW zal bedragen, waarvan nog steeds een aanzienlijke fractie zal voortkomen uit fossiele energiebronnen<sup>[II.3]</sup>.

De verbranding van fossiele brandstof brengt jaarlijks 6 gigaton (Gt) of 6 miljard ton koolstof, onder de vorm van CO<sub>2</sub> van de verbrandingsgassen, bij in de atmosfeer. Van deze lozingen wordt 2,5 Gt op natuurlijke wijze, door oceanen en bomen, gefixeerd. Het gedeelte dat niet wordt vastgelegd bedraagt 3,5 Gt. Dit deel stapelt op in de atmosfeer, die ongeveer 750 Gt koolstof bevat bij een CO<sub>2</sub> - concentratie van 360 parts per million (ppm). Hierdoor stijgt de CO<sub>2</sub> – concentratie jaarlijks met 1,5 ppm<sub>v</sub><sup>[II.1,2]</sup>. De huidige CO<sub>2</sub> - concentratie ligt ongeveer bij 375 ppm<sup>[II.1]</sup>.

CO<sub>2</sub> is een broeikasgas en draagt bij aan de opwarming van onze planeet. Effecten hiervan zijn onder meer (zoals reeds vermeld in hoofdstuk 1) het smelten van ijskappen, stijgen van de zeespiegel en extremen in het weerbeeld. Andere gevolgen van het broeikaseffect zijn bijvoorbeeld een verandering van de pH van oceanen, wat leidt tot het verbleken van koraal en het smelten van de permafrost, waardoor CO<sub>2</sub> en methaan vrijkomt dat leidt tot een nog hogere CO<sub>2</sub> - concentratie<sup>[II.4]</sup>. Ook gaan er heel wat economische effecten gepaard met deze “global warming”. Zo denken we maar aan kosten van overstromingen, stormen, hitte, droogte en andere natuurrampen. De opwarming

van de aarde kan ook heel verstrekkende gevolgen hebben voor bepaalde sectoren, zoals bijvoorbeeld de toeristische sector<sup>[II.1]</sup>.

Een bijkomend aspect waar men rekening mee moet houden is dat van warmte – inertie. Het komt erop neer dat weersystemen slechts langzaam wijzigen, maar eens ze op gang gekomen zijn worden ze steeds sterker en zijn ze moeilijk te stoppen. Deze inertie wordt vooral veroorzaakt door de enorme watermassa op onze aardbol; 70% van het aardoppervlak bestaat uit water. Deze stof heeft de eigenschap dat ze zeer veel energie opslorpt. De opwarming van de aarde wordt dus eigenlijk vertraagd door de thermische massa van de oceanen. De aarde voelt hierdoor nog niet ten volle de effecten van de broeikasgassen die gisteren in de atmosfeer terecht zijn gekomen. Concreet betekent dit dat indien we vandaag de CO<sub>2</sub> - uitstoot volledig tot nul zouden herleiden, de opwarming van de aarde niet meteen tot stilstand zou komen, doordat koolstofdioxide opgeslagen in de oceanen weer vrijkomt. Indien we CO<sub>2</sub> blijven uitstoten zoals voorheen zullen de gevolgen exponentieel verergeren<sup>[II.1]</sup>.

Onderzoek voorspelt dat wanneer de aarde met meer dan 2° Celsius (C) opwarmt, sommige klimaateffecten zoals overstromingen, droogte, stijging van het zeeniveau en stormen onomkeerbaar en catastrofaal zouden zijn. Als we de opwarming van de aarde zouden willen beperken tot deze 2°C, dan zou de CO<sub>2</sub> - concentratie beperkt moeten blijven tot 450 ppm (zie tabel 2.1). Indien de concentratie oploopt tot 500 ppm is de kans al redelijk groot (44%) dat de temperatuurstijging oploopt tot 3°C, wat ons een stap dichterbij een catastrofe zou brengen. Bij een concentratie van 550 ppm bestaat er 69% waarschijnlijkheid dat de temperatuur zal toenemen met 3°C. Indien er geen maatregelen genomen worden, zou de concentratie in de komende decennia automatisch stijgen tot 650 – 750 ppm. Onderzoek van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) voorspelt dat we in 2030 32% minder broeikasgassen mogen uitstoten dan in 2000 indien we de doelstelling van 450 ppm willen behalen. In 2050 zou deze reductie 50% moeten bedragen in vergelijking met het niveau van het jaar 2000<sup>[II.1]</sup>. Het komt er dus op neer zo weinig mogelijk nieuwe broeikasgassen in de atmosfeer terecht te laten komen.



Tabel 2. 1 Waarschijnlijke temperatuurstijging bij gegeven CO<sub>2</sub> – concentraties (NOELS, 2008)

Waarschijnlijke temperatuurstijging bij de volgende CO <sub>2</sub> -concentraties						
Stabilisatieniveau CO <sub>2</sub> -concentratie ppm CO <sub>2</sub>	opwarming temperatuur					
	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C
450	78	18	3	1	0	0
500	96	44	11	3	1	0
550	99	69	24	7	2	1
650	100	94	58	24	9	4
750	100	99	82	47	22	9

**Probabiliteit**

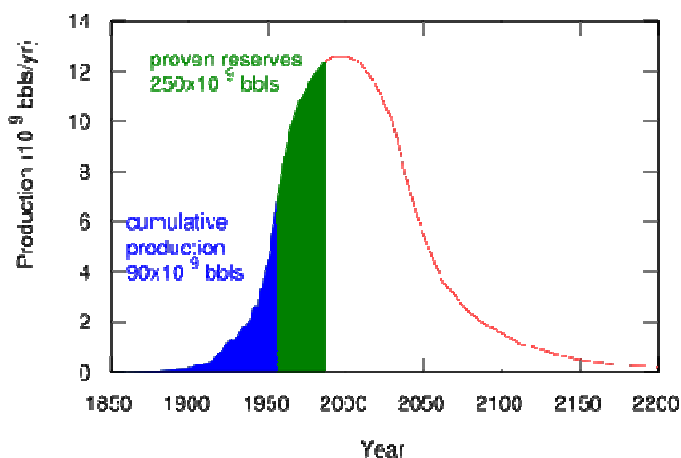
Bron: Stern

Probabiliteit weinig waarschijnlijk  
Probabiliteit waarschijnlijk

### 2.1.2 Piekolie

Een andere factor die aanzet tot het zoeken naar alternatieve energiebronnen is het probleem van “piekolie”. De eerste theorie in verband met piekolie werd voorgesteld door M. K. Hubbert in de jaren '50. Volgens Hubbert kent de productie van ruwe olie een klokvormig verloop dat ongeveer symmetrisch is, zoals duidelijk afgebeeld in figuur 2.1 <sup>[II.16]</sup>. Vooraan in de curve, nog voor de piek plaatsvindt, stijgt de productiesnelheid dankzij een toegenomen snelheid van ontdekkingen. Later in de curve, na de piek, neemt de productie af omwille van de uitputting van bronnen. De theorie van Hubbert werd met goede benadering bevestigd voor het geval van de olieproductie in Amerika, die een piek kende in 1971. Momenteel wordt deze theorie toegepast op de wereldwijde olieproductie. In het algemeen wordt aangenomen dat de globale piek van de olieproductie ergens in de 21<sup>e</sup> eeuw zal plaatsvinden. Sommige analisten geloven dat de piek reeds heeft plaatsgevonden in 2005 – 2006 <sup>[II.13]</sup>

Figuur 2. 1 Olieproductie, klokvormig verloop (BARDI, 2009)



Wanneer we uitspraken willen doen over de beschikbare hoeveelheid olie, dienen we rekening te houden met 3 bepalende factoren: reserves, productie en nieuwe vondsten<sup>[11.1]</sup>.

- **Reserves**

Onderzoek voorspelt dat de reserves aan huidig tempo kunnen dienen voor iets minder dan 40 jaar productie. Het Internationaal Energie Agentschap (IAE) voorspelt echter een stijging in het verbruik van olie, waardoor de beschikbare hoeveelheid olie nog sneller uitgeput zou zijn. Een tweede probleem met deze reserves is de betrouwbaarheid van de cijfers. De officiële cijfers tonen een merkwaardig verloop: ondanks jaren van hoge productie en geen grote nieuwe vondsten, blijven de voorraden redelijk stabiel. We zouden dus kunnen stellen dat de hoeveelheid *bewezen* reserves eigenlijk niet bewezen zijn, maar hooguit een summiere indicatie geven van de huidige hoeveelheid reserves.

- **Productie**

Wat betreft productie zijn er enkele factoren die kunnen wijzen op het fenomeen van piekolie. Zo moeten olieproducenten tegenwoordig de olie uit oudere bronnen naar boven duwen, terwijl vroeger (toen de oliebronnen nog jong waren) de olie er letterlijk uitspoot. Verder moeten oliebedrijven meer en meer verticale boortechnieken vervangen door horizontale boortechnieken, doordat olie enkel nog overblijft in allerlei spleten en holten. Ook boringen op zee worden almaar complexer: terwijl boringen oorspronkelijk gewoon voor de kust gedaan konden worden, moeten bedrijven vandaag opschuiven tot in de diepzee.

- **Olievondsten**

Met betrekking tot olievondsten kunnen we stellen dat de grote vondsten dateren van de jaren '50 – '60. Sinds 1980 verbruiken we elk jaar meer olie dan er nieuwe wordt gevonden.

Zowel voorraden, vondsten als productie wijzen erop dat de tijd van makkelijke, goedkope olieontginning afgelopen is. Er is nog wel een hoeveelheid olie voorhanden, maar deze is beperkt en moeilijk te ontginnen. Dit fenomeen geeft een extra motivatie om op zoek te gaan naar alternatieve energiebronnen<sup>[11.1]</sup>.

## **2.2 Op zoek naar oplossingen**

### **2.2.1 Zilveren kogel?**

We kunnen onszelf, net zoals Geert Noels in het boek “Econoshock”<sup>[II.1]</sup>, de vraag stellen of er een “silver bullet” of zilveren kogel bestaat, een technologie die alle energieproblemen uit de wereld helpt. Hierbij zijn verschillende bronnen die in overweging kunnen worden genomen, zoals bijvoorbeeld biobrandstoffen, kernenergie,... Andere kandidaten voor het oplossen van het energieprobleem zijn de hernieuwbare energiebronnen, zoals wind (onshore en offshore), geothermische energie, de zon,... Jammer genoeg kan momenteel geen enkel van deze hernieuwbare bronnen de grote hoeveelheid kost – competitieve energie leveren die vereist is; er bestaat geen zilveren kogel<sup>[II.11]</sup>. Indien we willen komen tot een propere, betrouwbare, betaalbare energievoorziening moeten we alle mogelijke opties open houden en steeds in combinatie bekijken<sup>[II.8]</sup>.

### **2.2.2 Energie – efficiëntie**

Elk realistisch energieprogramma zou moeten beginnen met energie – efficiëntie. Momenteel is het zo dat, omwille van allerlei soorten inefficiënties in de energieketen, er voor elke joule (J) energie die gespaard wordt aan het einde van de energieketen, er 4-5 J minder geproduceerd moet worden aan het begin van de keten. Er zijn tal van manieren om zuiniger om te gaan met energie zonder dat we iets essentieel missen: rijden met energiezuinige wagens, bouwen van energiezuinige woningen,... Het efficiënter omgaan met energie kan de CO<sub>2</sub> - uitstoot enorm verminderen en op die manier bijdragen aan een betere kwaliteit van de samenleving<sup>[II.1,II.4]</sup>.

### **2.2.3 Hernieuwbare energiebronnen**

Energie – efficiëntie kan wel helpen om de CO<sub>2</sub> - uitstoot te verminderen, maar er zal altijd een grote energiebehoefte blijven bestaan. Het blijft noodzakelijk dat er grote hoeveelheden energie geproduceerd worden, waarvan best zoveel mogelijk propere of groene energie.

#### ***2.2.3.1 Effect van hernieuwbare energie op CO<sub>2</sub> - reductie***

Aan de hand van hernieuwbare energiebronnen kan groene, propere energie worden geproduceerd. Een opmerking die hier gemaakt dient te worden is dat hernieuwbare energiebronnen, in tegenstelling tot wat vele mensen denken, niet volledig CO<sub>2</sub> - neutraal zijn. Om dit te beoordelen moet steeds naar de volledige levenscyclus worden gekeken, waaruit blijkt dat een bepaalde hoeveelheid fossiele energie verbruikt wordt in de productiefase. Met andere woorden, het

opwekken van de hernieuwbare energiestroom op zich verbruikt geen fossiele brandstoffen, maar het produceren van systemen om hernieuwbare energie op te wekken veroorzaakt wel CO<sub>2</sub> – emissies<sup>[II.6, II.17]</sup>. Bij de productie van PV – systemen bijvoorbeeld wordt meer uitgestoten dan bij de productie van elementen voor de opwekking van wind- en nucleaire energie, maar de uitstoot die hiermee gepaard gaat is verwaarloosbaar ten opzichte van een gas- of koolcentrale<sup>[II.10]</sup>. Broeikasemissies in de levenscyclus van PV zijn lager dan in de levenscyclus van biomassa<sup>[II.6]</sup>. In tabel 2.2 wordt een vergelijking gegeven van CO<sub>2</sub> - emissies van verschillende energiebronnen (ook niet – hernieuwbare bronnen), bekeken over de hele levenscyclus<sup>[II.5]</sup>.

**Tabel 2. 2 Gemiddelde CO<sub>2</sub> - emissie gedurende de volledige levenscyclus van verschillende energiebronnen (ABRUNACHALAM, FLEISCHER, 2008)**

Energy Source	Lifecycle CO <sub>2</sub> Emissions (g per kWh)
Coal	1,000
Oil	800
Natural gas	400–500
Solar	13–730
Wind	7–124
Nuclear	2–60

### **2.2.3.2 Drijvers**

Enkele drijvers hebben ertoe geleid dat hernieuwbare energie momenteel een gerespecteerd lid is van de energiemix. Een eerste drijver is het feit dat er een algemeen dalende trend bestaat in de kostprijs van het opwekken van hernieuwbare energie. Een tweede drijver is de bijhorende vermindering in uitstoot van CO<sub>2</sub> wat, zoals reeds besproken, noodzakelijk is voor het verminderen van het broeikaseffect. Ook de steun van consumenten en overheid hebben een positieve invloed op de productie van hernieuwbare energie. Zo heeft de overheid bijvoorbeeld een steunmechanisme van groene stroomcertificaten ingevoerd, dat sinds 2004 gegarandeerde minimumprijzen biedt voor opgewekte groene stroom<sup>[II.17]</sup>. Verder speelt ook het feit dat de gemakkelijk ontginbare fossiele bronnen bijna uitgeput zijn een rol. Een laatste drijver is de nood aan energiezekerheid en de bijhorende angst voor schommelingen in energieprijzen van fossiele brandstoffen<sup>[II.9]</sup>.

### **2.2.3.3 Barrières**

Toch zijn er ook enkele barrières die ertoe hebben geleid dat hernieuwbare energie geen grotere fractie van de energievoorziening op zich neemt. Hierbij denken we aan problemen om de opgewekte energie aan het net te koppelen, onzekerheid met betrekking tot overheidssteun, het opslaan van energie... Het grootste struikelblok van hernieuwbare energie blijft de hoge kost die

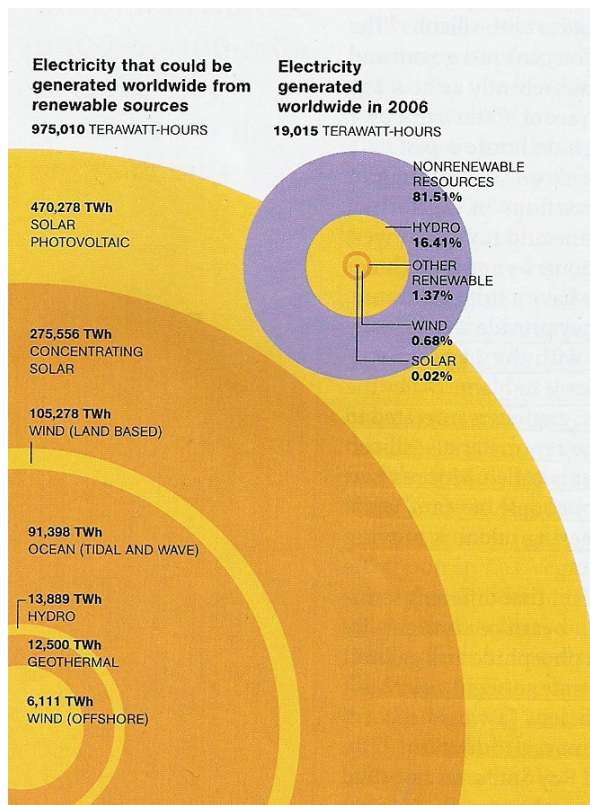
ermee gepaard gaat<sup>[II.9]</sup>. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de kosten van hernieuwbare energieproductie nog significant kunnen dalen naar de toekomst toe, dankzij een combinatie van “technology learning” en “scale learning”<sup>[II.5]</sup>.

## 2.3 De zon, een veelbelovende kandidaat

### 2.3.1 Potentieel

Energie van de zon is een goede kandidaat om op lange termijn een deel van de fossiele brandstoffen te vervangen en zo de uitstoot van CO<sub>2</sub> terug te dringen. Een belangrijke voorwaarde die hieraan gekoppeld is, is dat men efficiëntere manieren zal moeten vinden om zonne-energie op te vangen<sup>[II.11]</sup>. De zon levert elk uur meer energie aan de aarde dan we momenteel jaarlijks verbruiken, 3 keer meer energie dan alle energiecentrales samen<sup>[II.12,II.1]</sup>. Uit figuur 2.2 blijkt duidelijk dat de zon een enorm potentieel tot energieverwerving heeft. Het potentieel overtreft dat van alle andere hernieuwbare energiebronnen zoals wind, oceaanenergie,...<sup>[II.3]</sup>

Figuur 2. 2 Productie uit hernieuwbare bronnen (JOHNSON, 2009)



### 2.3.2 Aandeel van zonne - energie in de globale energieproductie

Ondanks het bijna eindeloos potentieel van de zon, maakte zonne-energie in 2006 slechts 0,02% uit van de wereldwijde energieproductie<sup>[II.3]</sup>. Er zijn verschillende redenen waarom zonne-energie geen

grotere fractie vertegenwoordigt. De twee meest belangrijke redenen zijn enerzijds de veranderlijkheid die gepaard gaat met zonne-energie en anderzijds de relatief hoge kostprijs. Deze twee elementen zullen hieronder kort besproken worden. Verder zal ook dieper worden ingegaan op een prognose naar de toekomst toe van het aandeel van zonne-energie in de totale energieproductie.

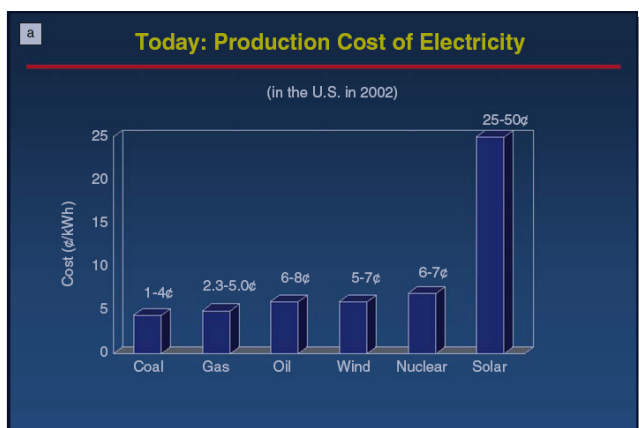
### ***2.3.2.1 Veranderlijkheid van zonne-energie***

Een eerste reden waarom zonne-energie slechts een klein aandeel van de energieproductie op zich neemt, heeft te maken met de grote veranderlijkheid die gepaard gaat met energie afkomstig van de zon. Zonnestraling wordt door de natuur zeer ongelijkmatig verdeeld in de tijd. Zonne – energie is enkel overdag beschikbaar, de menselijke energiebehoefte daarentegen is continu<sup>[II.4]</sup>. In gebieden met seizoenen duikt tevens het fenomeen seizoensveranderlijkheid op. Op onze breedtegraad bijvoorbeeld is het ongeveer 16 uur dag in de zomer en ongeveer 16 uur nacht in de winter. Daarenboven zorgt bewegende bewolking ervoor dat de invallende zonnestraling van plaats tot plaats verschilt. Tenslotte varieert ook de vermogensdichtheid van de straling tussen 0 en 1 kW/m<sup>2</sup>. Al deze veranderlijkheid leidt ertoe dat het potentieel van PV beperkt wordt<sup>[II.2]</sup>.

### ***2.3.2.2 Relatieve kostprijs van PV***

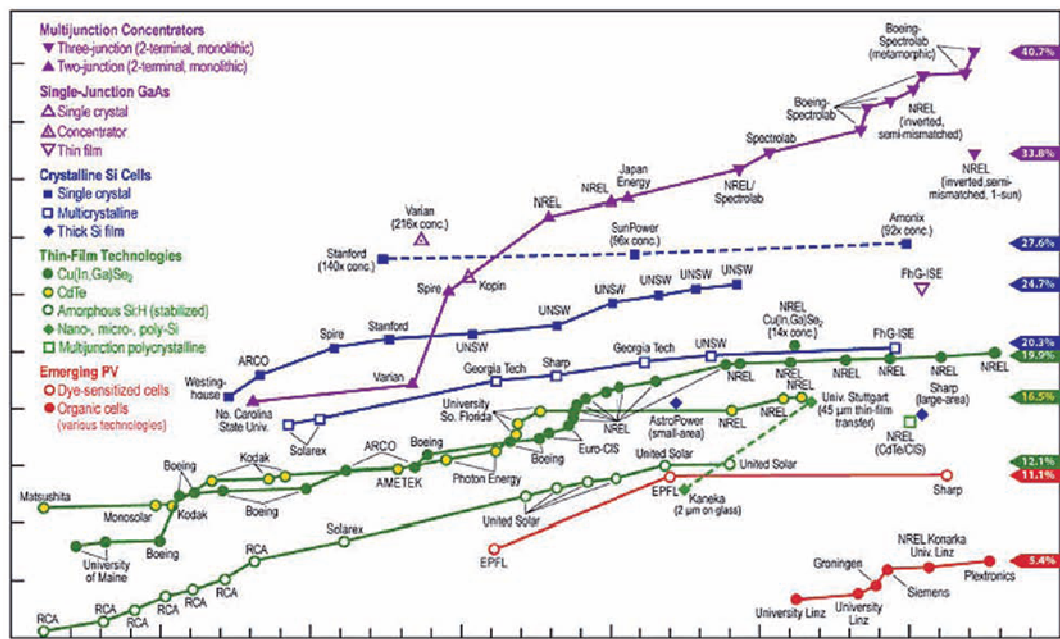
De belangrijkste reden die verklaart waarom PV geen groter deel van de energieproductie uitmaakt is de hoge kost die ermee gepaard gaat. In figuur 2.3 wordt een vergelijking gemaakt van de kostprijs (uitgedrukt in dollarcent/kWh) van energieproductie door verschillende primaire energiebronnen in het jaar 2001. Deze cijfers zijn gebaseerd op Amerikaanse gegevens, maar zijn representatief voor heel de wereld. Steenkool is het goedkoopste alternatief om elektriciteit te produceren en kost tussen de 1 en 4 dollarcent per kWh, goedkoper dan gas en olie. Energieproductie door wind zou tussen de 5 en 7 dollarcent per kWh kosten, wat eigenlijk niet veel duurder is dan olie of gas. Deze cijfers zijn echter gebaseerd op windproductie op zeer gunstige plaatsen en houden geen rekening met kosten voor opslag. Energieproductie door de zon tenslotte is veruit het duurste, gaande van 25 tot 50 dollarcent per kWh. Met deze cijfers in het achterhoofd is het niet verwonderlijk dat zonne-energie momenteel geen groter deel vertegenwoordigt van de huidige energiemix<sup>[II.4]</sup>.

Figuur 2. 3 Productiekost van elektriciteit in 2001, uitgesplitst naar verschillende energiebronnen (LEWIS, 2007)



Het fundamentele dilemma van PV draait eigenlijk om de trade-off tussen efficiëntie en kost. Conventionele zonnecellen op basis van monokristallijn silicium zijn relatief efficiënt. Echter, het integreren van deze zonnecellen in toestellen is zeer duur. Nieuwere PV – technologieën zoals “thin films” gebruiken materialen met een minder ordelijke structuur. Ze zijn in het algemeen gemakkelijker en goedkoper om te produceren, maar ze zijn ook minder efficiënt<sup>[11.11]</sup>. Op verschillende plaatsen in de wereld is volop onderzoek bezig naar een goedkope zonnecel die toch een hoog rendement biedt<sup>[11.15]</sup>. Dankzij voortdurende innovaties stijgt de efficiëntie van PV – cellen relatief snel, wat ook blijkt uit figuur 2.4<sup>[11.7]</sup>.

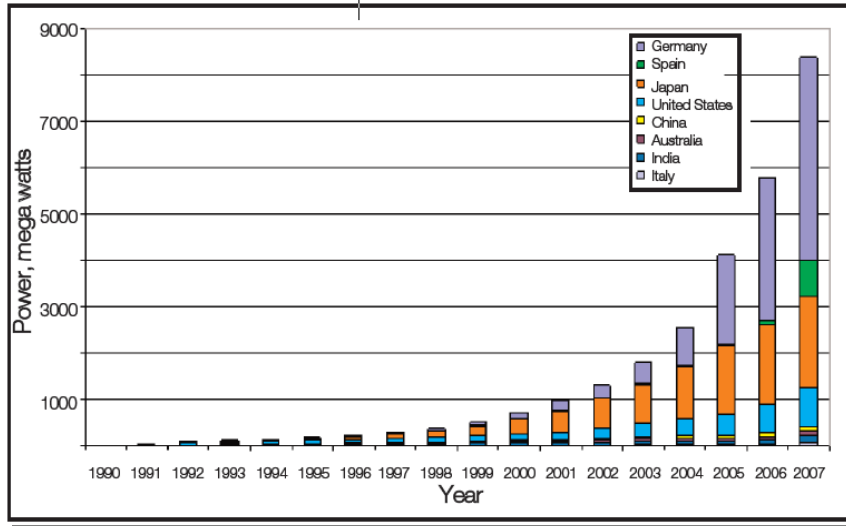
Figuur 2. 4 Innovaties en snelle stijging van de efficiëntie van opkomende zonnecellen (KHAN et al, 2008)



Tevens neemt de geïnstalleerde PV - capaciteit elk jaar toe. In figuur 2.5 is de wereldwijde capaciteit van PV tot in het jaar 2007 weergegeven, opgesplitst in enkele belangrijke PV - producenten. De

capaciteit is sinds 1988 ieder jaar toegenomen. In 2008 heeft de capaciteit de grens van 10 gigawatt overschreden<sup>[II.7]</sup>.

Figuur 2. 5 Cumulatief geïnstalleerde PV - powergeneratiecapaciteit in functie van de tijd (KHAN et al, 2008)



Dankzij de voortdurende innovaties in PV en de steeds toenemende capaciteit, bewegen we naar beneden op de fotovoltaïsche leercurve, waardoor energieproductie aan de hand van PV steeds goedkoper wordt (reeds besproken in hoofdstuk 1). Het U.S. National Renewable Energy Laboratory stelt dat de productiekost van PV – modules jaarlijks gemiddeld 5,5% gedaald is tussen 1992 en 2005<sup>[II.12]</sup>.

### 2.3.2.3 Aandeel van zonne-energie in de toekomst

Voorspellingen tonen aan dat indien de trend van een dalende kostprijs zich voortzet, wat verwacht wordt, PV ongeveer 4% van de wereldwijde elektriciteit zal uitmaken tegen 2030<sup>[II.12]</sup>. Deze voorspelling vertrekt van het scenario dat in 2030 25% van de totale energievoorziening moet voortkomen uit hernieuwbare bronnen. Indien we zouden voortgaan op het huidig beleid, zou PV tegen 2030 slechts 1% voor zijn rekening nemen<sup>[II.14]</sup>.

### 2.3.3 PV in geluidsbarrières

In België worden op verschillende plaatsen PV – parken opgetrokken. Zo denken we bijvoorbeeld aan de zonnecentrale op het vroegere slibbekken van de mijn in Heusden – Zolder. Deze centrale bestaat uit 22 500 zonnepanelen, goed voor een totaal geïnstalleerd vermogen van 4,5MWp. De oppervlakte hiervan bedraagt 17ha<sup>[II.18]</sup>, wat overeenkomt met 34 voetbalvelden. Ook in Veurne vindt men een grootschalig zonnepark. Het park bestaat uit 13 000 zonnepanelen, heeft een vermogen van 2,7MWp en bestrijkt een oppervlakte van 6,5 ha<sup>[II.19]</sup>. Een ander voorbeeld is terug te vinden in Antwerpen,



waar men op het dak van een distributiecentrum 12 000 zonnepanelen geïnstalleerd heeft met een totaal vermogen van 2,6MWp, over een dakoppervlak van 4ha<sup>[II.20]</sup>. Deze 3 parken samen nemen een totale oppervlakte in beslag van 27,5ha en volstaan om ongeveer 2100 gezinnen van groene stroom te voorzien.

Wanneer men het aandeel van zonne – energie in de toekomst wil laten toenemen, zal men aanspraak moeten maken op heel wat extra ruimte. Echter, de beschikbare ruimte in ons land is schaars, zeker in dichtbevolkte gebieden. Het zou daarom ideaal zijn indien men PV – panelen kon installeren op “verloren oppervlakten”, oppervlakten waar men niets nuttig mee kan doen. Dit brengt ons bij het idee van plaatsen van PV langs autowegen en spoorwegen. Dit idee, dat voor het eerst werd geïntroduceerd in Zwitserland in 1989, wordt momenteel toegepast in verschillende landen onder de vorm van “de combinatie van PV en geluidsschermen” of kortweg “PV - geluidsschermen”. Hiermee wordt zowel het gebruik van het geluidsscherm als substructuur voor PV – modules als het integreren van PV – modules in het geluidsscherm bedoeld; met andere woorden er worden PV – panelen geïnstalleerd op of geïntegreerd in de geluidsschermen. Deze schermen bestaan binnen Europa momenteel in Duitsland, Italië, Nederland, Zwitserland, Frankrijk en Oostenrijk, maar nog niet in België<sup>[II.21]</sup>. Deze innovatieve manier om het aandeel van PV te verhogen zal in volgende hoofdstukken grondig onder de loep worden genomen.

## Hoofdstuk 3: PV - geluidsbarrières

Dit hoofdstuk tracht een zo volledig mogelijk overzicht te geven van de bestaande literatuur in verband met PV – geluidsschermen, ook wel photovoltaic noise barriers of PVNB's genoemd. Vooreerst zullen de bijhorende voordelen kort besproken worden. Verder zal een overzicht gegeven worden van de huidige stand van zaken van PV – geluidsbarrières in Europa; hierbij zal dieper worden ingegaan op de geïnstalleerde capaciteit enerzijds en op de bestaande technologieën anderzijds. Ook zal een bespreking volgen van het potentieel van deze schermen in Europa en meer specifiek in België. Het hoofdstuk eindigt met een paragraaf over geluidsschermen, waarin ondermeer beschreven staat wat er ter zake terug te vinden is in de Belgische wetgeving.

### 3.1 Voordelen

Het gebruik van de combinatie van PV en geluidsbarrières heeft tal van voordelen. Hierbij denken we vooreerst aan het dubbel gebruik van het geluidsscherm; het geluidsscherm dient enerzijds als bescherming tegen het geluid, en anderzijds als een geschikte oppervlakte voor plaatsing van PV – modules. Dit brengt met zich mee dat hernieuwbare energie geproduceerd kan worden zonder dat er extra ruimte nodig is voor de plaatsing van PV – modules<sup>[III.1, III.5, III.6]</sup>.

Een tweede belangrijk voordeel verbonden aan PVNB's is hun potentieel tot energieproductie. Dit geldt vooral in dichtbevolkte, geïndustrialiseerde gebieden die ook een hoog elektriciteitsverbruik hebben. Er is reeds een uitgebreide studie gebeurd die het potentieel van PVNB's in Europa tracht te kwantificeren; hierop zal later dieper worden ingegaan<sup>[III.1, III.5]</sup>.

Bij de opbouw van PV - geluidsschermen kan gebruik gemaakt worden van “prefabrication” of “systeembouw”. Dit is een manier van bouwen waarbij gebruik gemaakt wordt van op voorhand gefabriceerde onderdelen. Dit houdt in dat de PV – modules reeds tijdens het productieproces geïntegreerd worden in het geluidsscherm. Op deze manier kunnen enerzijds de constructiekosten beperkt worden (besparen op tijd, lonen, transportkosten,...) en anderzijds laat dit systeem toe om producten van betere kwaliteit te produceren<sup>[III.1, III.8]</sup>.

Een bijkomend voordeel van PVNB's is de relatief gemakkelijke toegankelijkheid die ermee gepaard gaat. Transportwegen kunnen gebruikt worden zowel voor de constructie als voor het onderhoud van de schermen (men hoeft niet op daken te klimmen,...)<sup>[III.1]</sup>. Echter, indien het fotovoltaïsche gedeelte weggedraaid is van de autosnelweg, wordt de toegang vaak bemoeilijkt door bijvoorbeeld dichte begroeiing of een diepe berm.

Een volgend voordeel verbonden aan de combinatie van PV en geluidsschermen is, tenminste zo beweert de Duitse fabrikant TNC Consulting AG, de winstgevendheid. Volgens deze producent is dankzij dit type van integratie, waar 2 afzonderlijke elementen eigenlijk 1 geheel worden, de totale kost gedaald met meer dan 50%. Het PV – gedeelte kan gedeeltelijk gefinancierd worden met het budget dat voorzien werd voor de geluidsbarrière. Overblijvende kosten kunnen gedekt worden door de inkomsten die je verwerft voor het leveren van elektriciteit aan het net, betaald door een elektriciteitsbedrijf<sup>[III.6, III.29]</sup>. In België zou het bijvoorbeeld Luminus kunnen zijn die een vergoeding uitkeert voor de stroom geleverd aan het net. Verder in deze thesis (hoofdstuk 4) zal een kosten – batenanalyse van een demoproject in Vlaanderen gemaakt worden, waarin zal aangegeven worden of PVNB's in België al dan niet winstgevend kunnen zijn.

Een ander mogelijk voordeel dat werd aangehaald in de literatuur betreft de financiering van PVNB's. Een "snelwegproject", waaronder bijvoorbeeld een geluidsscherm, is meestal een publiek project. Additionele PV - aspecten zouden dus mee opgenomen kunnen worden in het financieel plan, in de planning en in het constructieproces van de PVNB als geheel. Op die manier zouden er geen particuliere investeerders gezocht moeten worden, waardoor de financiering van dergelijke projecten makkelijker zou verlopen<sup>[III.1]</sup>. Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit een voordeel is beschreven door Zwitserse auteurs; in België is dit niet zo vanzelfsprekend. Uit een interview met Stephane Peeters, adjunct - directeur van het Agentschap Wegen en Verkeer, is gebleken dat de financiering van fotovoltaïsche geluidsschermen in België geen eenvoudige opdracht is. Voor de financiering van het geluidsscherm zelf zijn duidelijke regels opgesteld (zie 3.5.3.2 Financiering van geluidsschermen). Echter, voor het fotovoltaïsch gedeelte zijn er twee opties mogelijk: financiering door de overheid enerzijds of financiering door de privé – sector, bijvoorbeeld in de vorm van een concessie voor openbare werken<sup>3</sup> anderzijds. Enkele jaren geleden, bij het openstellen van een offertevraag voor de financiering van het fotovoltaïsch gedeelte van een eventueel geluidsscherm in Vlaanderen, is gebleken dat de overheid (op dat moment) niet bereid was deze investering te doen wegens "te beperkte overheidsbudgetten". Ook vanuit de privé - sector was er weinig interesse, dit ondermeer omwille van de onzekerheid die gepaard gaat met zowel de kosten, de opbrengsten als de regelgeving omtrent het fotovoltaïsche deel. In deze thesis wordt onder meer beoogd om deze onzekerheid te verminderen en om vervolgens aanbevelingen te doen aan de overheid en aan bedrijven in verband met PVNB's.

---

<sup>3</sup> Een concessie voor openbare werken is een gunningsprocedure/opdracht waarbij de overheid aan de concessiehouder het recht toekent om het werk uit te baten, in voorkomend geval tegen vergoeding, in ruil voor de verbintenis van de concessiehouder tot hetzij het oprichten van het werk, hetzij het ontwerpen en het oprichten van het werk, hetzij het doen uitvoeren van het werk. Met andere woorden: als er iemand de PV - panelen op of langs het geluidsscherm wil plaatsen, onderhouden en uitbaten (stroom mee opwekken), zou dat kunnen via deze procedure. Degene die deze werken uitvoert, moet dan een vergoeding betalen (jaarlijks) aan het Agentschap van Wegen en Verkeer en mag dan verder van de opbrengst van de stroom genieten<sup>[III.13]</sup>.

Tenslotte merken we op dat het concept PVNB een symbool is voor ecologische vooruitgang. Het is een teken van innovatieve, toekomstgeoriënteerde energieproductie en geeft blijk van het zoeken naar nieuwe oplossingen om te komen tot een duurzame economie, met de bijhorende ecologische voordelen. Dit alles kan onder andere leiden tot een beter imago van het bedrijf dat zich engageert om het PV – gedeelte te financieren<sup>[III.6]</sup>.

## 3.2 Huidige stand van zaken

### 3.2.1 Overzicht van de bestaande PVNB's

In dit onderdeel wordt getracht een zo volledig mogelijk overzicht te geven (in chronologische volgorde) van de bestaande PVNB's in Europa (tabel 3.1). We voegen hier steeds het jaar van constructie, de plaats waar ze staan en het vermogen aan toe<sup>[III.1,III.4,III.5,III.9,III.10]</sup>. Over sommige geluidsschermen zal extra info, waaronder beeldmateriaal, worden weergegeven.

Tabel 3. 1 Overzicht PVNB's in Europa

Land	Stad	Snelweg	Jaar van constructie	Vermogen (uitgedrukt in kWp)
Zwitserland	Domat/Ems	A13	1989	100
Oostenrijk	Seewalchen	A1	1992	40
Duitsland	Rellingen	A23	1992	30
Zwitserland	Magadino		1992	100
Duitsland	Saarbrücken	A620	1995	60
Nederland	Utrecht	A27	1995	55
Zwitserland	Giebenaach	A2	1995	100
Zwitserland	Zürich (Aubrugg)	A1	1997	10
Zwitserland	Zürich (Brütisellen)		1998	10
Duitsland	Ammersee	A96	1997	30
Zwitserland	Zürich (Wallisellen)	spoorweg	1998	9,6
Nederland	Amstelveen	A9	1998	216
Frankrijk	Foquièrè	A21	1999	63
Duitsland	Sausenheim	A6	2001	100
Zwitserland	Safenwil	A1	2001	80
Oostenrijk	Gleisdorf	A2	2001	101
Duitsland	Emden	A31	2003	53
Duitsland	Freising	A92	2003	599

Duitsland	Vaterstetten	spoorweg	2004	180
Duitsland	Grosbettlingen		2006	28
Zwitserland	Melide	582	2007	123
Zwitserland	Münsingen		2008	13
Duitsland	Aschaffenburg	A3	2009	2,65 MWp <sup>4</sup>
Italië	Marano d'Isera	A22	2009	730
Duitsland	Bürstadt	B57	2010	283

### 3.2.2 Mijlpalen in de evolutie van PVNB's

- **Zwitserland, 1989: eerste PVNB**

De allereerste PVNB, afgebeeld in figuur 3.1, werd gebouwd in 1989 in Zwitserland, mede met de hulp van het Duitse bedrijf TNC Consulting AG<sup>[III.29]</sup>. Deze barrière leverde jaarlijks 1000kWh/kWp aan het net<sup>5</sup>. Echter, het glazen oppervlak van de modules is nog nooit gereinigd, waardoor de efficiëntie licht gedaald is doorheen de jaren. Uit een studie gevoerd in het jaar 2000 is gebleken dat dit scherm gedurende tien jaar heeft gewerkt zonder enige onderbreking. Enkel in het 11<sup>e</sup> en 12<sup>e</sup> jaar zijn er enkele grote onderbrekingen geweest en bepaalde componenten van de omvormers zijn vervangen moeten worden. Het scherm is terug in werking sinds 2002<sup>[III.1]</sup>. De heer Vontobel, ingenieur binnen TNC Consulting AG, bevestigt dat het scherm de dag van vandaag nog steeds werkzaam is. Hieruit kan besloten worden dat de levensduur van een fotovoltaïsche geluidsbarrière meer dan 20 jaar kan bedragen, tenminste indien de omvormers tijdig vervangen worden. Verder wijst de heer Vontobel erop dat de systeemkosten nu, in 2010, met ongeveer 80% gedaald zijn ten opzichte van 1989<sup>[III.29]</sup>.

**Figuur 3. 1 PVNB in Domat/Ems, Zwitserland**



<sup>4</sup> Deze PV – constructie is geen echt geluidsscherm; het gaat over een PV - overdekte autosnelweg (zie verder).

<sup>5</sup> Om installaties met elkaar te vergelijken, wordt vaak de opbrengst (uitgedrukt in kWh) gedeeld door het totaal vermogen (uitgedrukt in kWp)

- **Zwitserland, 1995: scherm weggedraaid van autosnelweg**

De fotovoltaïsche geluidsbarrière die in 1995 gebouwd werd in Zwitserland produceert gemiddeld 850kWh/kWp. Het was de eerste PV - geluidswal waarvan het scherm zich wegdraait van de autosnelweg (zie figuur 3.2). Dit heeft gedemonstreerd dat het mogelijk zou zijn om in de toekomst een PVNB te bouwen met twee zijden, één zijde naar de autostrade toegekeerd en één zijde ervan weg<sup>[III.1]</sup>. Dit zou nuttig kunnen zijn indien de snelweg loopt van noord naar zuid. Immers, dan zouden panelen geplaatst kunnen worden gericht naar het oosten enerzijds en naar het westen anderzijds.

**Figuur 3. 2 PVNB in Giebenaach, Zwitserland**



- **Nederland, 1998: gebruik van module – geïntegreerde omvormers**

Ook in de geluidsbarrière langs de A9 in Nederland (figuur 3.3) is een PV – energiesysteem geïntegreerd. De 2160 modules in dit scherm zijn AC – modules, wat betekent dat deze allemaal uitgerust zijn met een mini – omvormer. Ten tijde van de initiatie van dit project was de AC – module een redelijk nieuw product. Deze micro – omvormers werden intensief getest en een aantal units zijn vervangen moeten worden. Momenteel werkt de barrière zoals verwacht; ze levert jaarlijks tussen de 600 en de 800kWh/kWp aan het net en is in staat om jaarlijks 176 000 kWh te produceren. Deze PVNB heeft aangetoond dat het mogelijk is om een grote toepassing te maken met module – geïntegreerde omvormers<sup>[III.1, III.7,III.34]</sup>. Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze module - geïntegreerde omvormers de dag van vandaag (in 2010) zeker niet de standaard zijn; in België bijvoorbeeld is deze technologie enkel terug te vinden in proefprojecten<sup>6[III.35]</sup>. Ook heeft men kunnen vaststellen dat de energieproductie minder snel afneemt indien men de schermen jaarlijks reinigt, bij voorkeur na het winterseizoen<sup>[III.1, III.7,III.34]</sup>.

---

<sup>6</sup> De huidige standaard voor grote PV – installaties in België is ofwel een aantal kleinere omvormers, bijvoorbeeld 1 per 50 panelen, ofwel 1 centrale omvormer voor de gehele installatie<sup>[III.35]</sup>

Figuur 3. 3 PVNB langs de A9, Nederland



- **Duitsland, 2003: PV – module met geluidsvermindering - functie**

In Freising, naast de vlieghaven van Munich, werd in 2003 een 1 kilometer lange PVNB opgetrokken met een vermogen van 500kWp (zie figuur 3.4). Het doel van deze constructie was om een PV - module te ontwikkelen met geluidsvermindering – functie, zodat een conventioneel geluidsscherm niet langer nodig was. Het speciale aan dit scherm is dan ook dat de PV - capaciteit is onderverdeeld in 2 delen, namelijk 338 kWp gerealiseerd uit keramisch gebaseerde PV - modules en de resterende 162 kWp uit standaard PV – modules. De standaardcellen zijn onderaan het paneel terug te vinden en worden ondersteund door een muur, die dient als bescherming tegen het geluid. De keramisch gebaseerde modules bevinden zich in het bovenste deel van de geluidsbarrière en hebben een onmiddellijke geluidsvermindering – functie. Een labotest heeft uitgewezen dat met deze module een niveau van geluidsdemping van 32dB kan bereikt worden, wat veel hoger ligt dan bij een conventioneel geluidsscherm (geluidsdemping net achter het scherm van 10dB<sup>[III.22,III.23,III.31]</sup>). Het volledige project werd gerealiseerd in 3 maanden tijd. De resultaten van de 2 verschillende technologieën werden nauwgezet opgevolgd: de prestatie van de keramisch gebaseerde cellen is ongeveer gelijk aan die van de conventionele PV – cellen<sup>[III.2]</sup>.

Figuur 3. 4 Freising, 500kWp geluidsbarrière met keramisch gebaseerde PV – modules (GROTTKE et al, z.d.)



Ceramic based I-50C  
PV modules  
(6.750 units, 338 kWp)

„Standard‘ I-150 PV  
modules for comparison  
(1.080 units, 162 kWp)

- **Duitsland, Zwitserland, 1996 : design competitie**

Een volgend onderdeel van de evolutie van fotovoltaïsche geluidsbarrières dat zeker vermeld dient te worden is de design competitie voor ontwerpers van geluidsschermen, PV – leveranciers en PV – installateurs. Dit gebeuren werd georganiseerd in 1996 door TNC Schweiz en TNC Deutschland met steun van het Swiss National Energy Research Fund, het Duits Ministerie van Onderwijs/Wetenschap/Onderzoek/Technologie en de Bayernwerke in Munich. Deze wedstrijd heeft geleid tot de constructie van 3 fotovoltaïsche geluidsbarrières in Duitsland en 3 in Zwitserland met elk een vermogen van ongeveer 10kWp, wat relatief klein is ten opzichte van andere PVNB's. Het hoofddoel van deze competitie was dan ook het ontwerpen van een innovatief design, niet het ontwerpen van een scherm met een groot vermogen. Al deze PVNB's zijn een unieke combinatie geworden van bescherming tegen geluid en PV – technologie.

Vooreerst gaan we dieper in op de 3 schermen die in Duitsland zijn gebouwd naar aanleiding van de design competitie. Deze zijn naast elkaar geplaatst aan de A96 in Ammersee, wat het mogelijk maakt om de ontwerpen naast elkaar te vergelijken. Het Fabrisolar scherm (figuur 3.5) is opgebouwd aan de hand van cassette – technologie en een enkele omvormer. Het gebruikt een nieuw type lay – out met een compact design. Het scherm is een combinatie van geluidsreflectie en geluidsabsorptie. Het Zueblin scherm (figuur 3.6) daarentegen maakt gebruik van “shingle” technologie en meerdere micro – omvormers. Ook dit scherm bestaat uit een combinatie van absorptie en reflectie van het geluid. Het Metecno scherm (figuur 3.7) is opgebouwd aan de hand van zig – zag technologie en een enkele omvormer. Het is een geluidsreflecterende PVNB. Dit scherm heeft het meest aantrekkelijke design en toont aan dat een NB ook optisch transparant kan zijn<sup>[III.1]</sup>.

**Figuur 3. 5 Ammersee Fabrisolar, cassette technologie**





Figuur 3. 6 Ammersee Zueblin, links, met shingle technologie



Figuur 3. 7 Ammersee DLW Metecno, zig - zag technologie



In Zwitserland zijn de PVNB's niet langs elkaar geplaatst, maar op 3 verschillende locaties in Zürich. Een eerste scherm in Wallisellen (figuur 3.8) maakt gebruik van de zig – zag technologie, verschillende mini – omvormers en een combinatie van reflectie en absorptie van het geluid. Dit was de eerste PVNB geplaatst langs een spoorweg. Het scherm in Brüttisellen (figuur 3.9) is opgebouwd aan de hand van verticale cassette – technologie en een enkele omvormer. Het is ook weer een combinatie van geluidsabsorptie en –reflectie. In dit scherm werd voor het eerst gebruik gemaakt van dunne – film technologie. Een derde scherm bevindt zich langs een noord – zuid snelweg in Aubrugg (figuur 3.10). Deze geluidsreflecterende NB is de eerste ter wereld die gebruik maakt van de “bifacial” technologie op basis van tweezijdig lichtgevoelige zonnecellen, één zijde van het scherm is gericht naar het oosten, de andere zijde richt zich naar het westen. In theorie zou de totale jaarlijkse opbrengst gelijk moeten zijn aan de opbrengst van een scherm dat naar het zuiden is gericht (meer uitleg, zie verder 3.3.1 Verschillende PVNB structuren). Echter, de efficiëntie van één zijde is lager dan voorzien, te wijten aan het productieproces. Hierdoor zijn ook de jaarlijkse prestatieresultaten iets lager dan verwacht. Toch wordt verwacht dat het gebruik van bifaciale PV - technologie de mogelijkheid van PV in geluidsbarrières significant zal vergroten<sup>[III.1]</sup>.

Figuur 3. 8 Zürich Wallisellen met zig-zag technologie



Figuur 3. 9 Zürich Bruettisellen met verticale cassette technologie



Figuur 3. 10 Zürich Aubrugg met "bifacial" technologie



- **Duitsland, 2009: volledig PV - overdekte snelweg**

In 2009 heeft het Duitse bedrijf Ralos voor het eerst een gedeelte van de snelweg volledig overdekt met PV, zoals afgebeeld in figuur 3.11. Het vermogen van deze constructie bedraagt 2,65 MWp, maar de constructie is geen eigenlijke geluidsbarrière in de zin van het woord.

Figuur 3. 11 Duitsland Aschaffenburg PV - overdekte snelweg

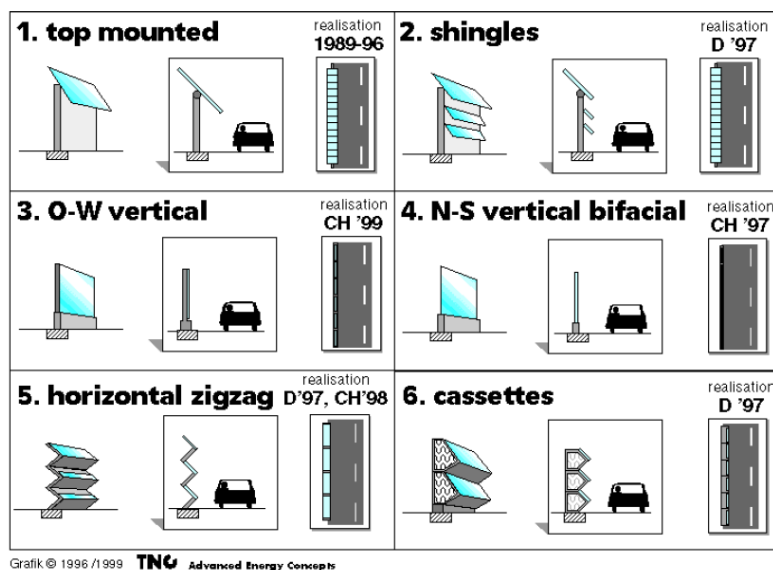


### 3.3 Aspecten van het design

#### 3.3.1 Verschillende PVNB structuren

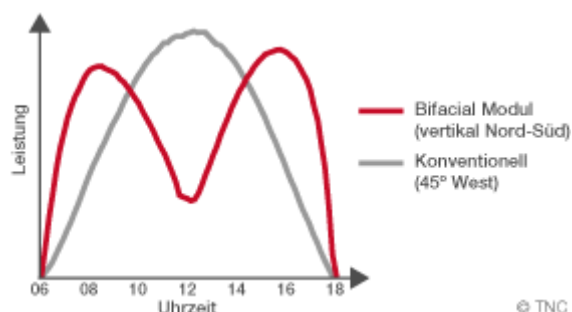
Zoals bovenstaande voorbeelden aantonen zijn er verschillende PVNB - structuren mogelijk. Vanuit technisch standpunt kunnen deze verschillende structuren onderverdeeld worden in 2 categorieën: top – mounted structuren en geïntegreerde structuren. Een top – mounted structuur is terug te vinden onder nummer 1 van figuur 3.12. Hierbij worden de PV – modules onder een bepaalde hellingshoek bovenaan op de geluidsbarrière geïnstalleerd; er is geen sprake van integratie. Bij een “shingle” structuur worden de PV – panelen dakpansgewijs geïnstalleerd op de geluidsbarrière, ook weer onder een bepaalde hellingshoek. Voorbeelden van geïntegreerde structuren zijn terug te vinden bij nummers 3, 4, 5 en 6. Bij deze geïntegreerde structuren worden de PV – modules in de geluidsmuur verwerkt. Bij de oost – west verticale barrière (nummer 3) zijn aan 1 enkele zijde zonnecellen verticaal in de geluidsbarrière geïntegreerd. Deze schermen zijn geschikt voor snelwegen die lopen van oost naar west, zodat de zonnepanelen optimaal zuidelijk georiënteerd kunnen worden<sup>[III.5, III.3,III.29]</sup>. Bij de zig – zag – en cassette – technologie worden de fotovoltaïsche cellen op een compacte manier onder een bepaalde hellingshoek in het geluidsscherm geïntegreerd.

Figuur 3. 12 Verschillende PVNB structuren (GOETZBERGER, 1999)



Het noord – zuid bifaciale scherm (nummer 4) is aan beide kanten uitgerust met PV, waardoor het geschikt is voor plaatsing langs een autosnelweg die loopt van noord naar zuid. Bifaciale cellen zijn dan ook tweezijdige, lichtgevoelige zonnecellen die verticaal in noord – zuid richting geïnstalleerd kunnen worden zodat één zijde naar het oosten en één naar het westen gericht is. De opbrengst voortkomend uit beide zijden van de module kan dan bij elkaar worden opgeteld om zo te komen tot de totale opbrengst. Een bifaciale module kan een jaarlijkse opbrengst bereiken van bijna 100% van de opbrengst die een standaardmodule in een optimale zuidelijke oriëntatie zou leveren. Dit is ook af te lezen uit figuur 3.13<sup>[III.6b,III.5]</sup>. De bifaciale technologie werd zoals eerder besproken voor het eerst geïntroduceerd in Zwitserland in 1997. Het is tot heden het enige scherm dat gebruik maakt van deze technologie.

Figuur 3. 13 Yield van bifaciale versus conventionele zonnecellen (www.tnc.ch)



### 3.3.2 Technische specificaties

Bij de constructie van een PVNB moet rekening gehouden worden met verschillende technische aspecten. Een eerste factor die in overweging moet worden genomen is de hoogte die de barrière zal

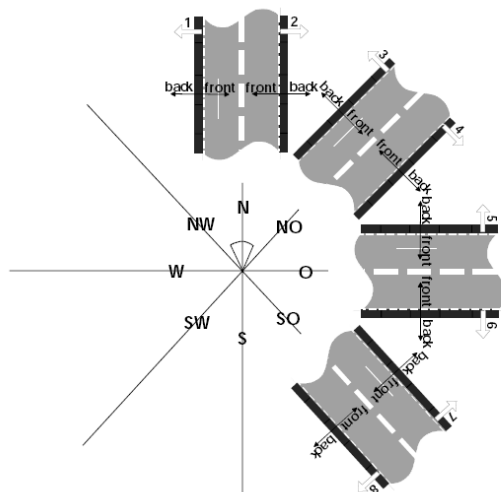
hebben. Reeds gerealiseerde PVNB's hebben een hoogte tussen de 3 en 4 meter, inclusief het fotovoltaïsche gedeelte. De hoogte van bestaande conventionele geluidsbarrières daarentegen varieert tussen de 2 en de 19 meter. Verder is het zo dat gerealiseerde geluidsbarrières langs autowegen gewoonlijk hoger zijn dan die langs spoorwegen, dit omwille van veiligheidsredenen van spoorwegmaatschappijen<sup>[III.5]</sup>. De heer Stulens van het Agentschap Wegen en Verkeer merkt op dat er in België weinig variatie bestaat in geluidsschermen en dat in ons land de conventionele schermen meestal tussen de 3 en 5m hoog zijn<sup>[III.13]</sup>.

Ook omwille van veiligheidsredenen moet het eventuele PV – oppervlak gericht naar de spoorweg of autoweg steeds kleiner zijn dan het oppervlak georiënteerd naar het landschap<sup>[III.5]</sup>.

Bij PVNB's langs spoorwegen moet tevens aandacht besteed worden aan de afstand tussen de geluidsbarrière en de sporen. In Duitsland bijvoorbeeld moet deze afstand liggen tussen de 3,5 en 4,5 meter. De afstand moet enerzijds klein genoeg zijn zodat geluidsabsorptie efficiënt kan verlopen, anderzijds moet de afstand groot genoeg zijn omwille van veiligheidsredenen (zodat personeel en materiaal tijdig geëvacueerd kunnen worden bij het naderen van een trein)<sup>[III.5]</sup>.

Een belangrijk aandachtspunt bij PVNB's is de oriëntatie van de PV - schermen, wat ook een impact heeft op de inclinatiehoek waaronder de schermen best geplaatst kunnen worden. Zowel spoorwegen, autowegen als PV - arrays kunnen geclassificeerd worden aan de hand van hun oriëntatie. In figuur 3.14 worden alle mogelijke oriëntaties weergegeven. De wegen (afgebeeld in het grijs) zijn gegroepeerd volgens de 4 hoofddassen, namelijk N-Z, ZW-NO, O-W, ZO-NW. Verder heeft elke as twee mogelijke oriëntaties van een PV - array. Zo kan je bijvoorbeeld een paneel dat op de N-Z as ligt richten naar het westen of naar het oosten.

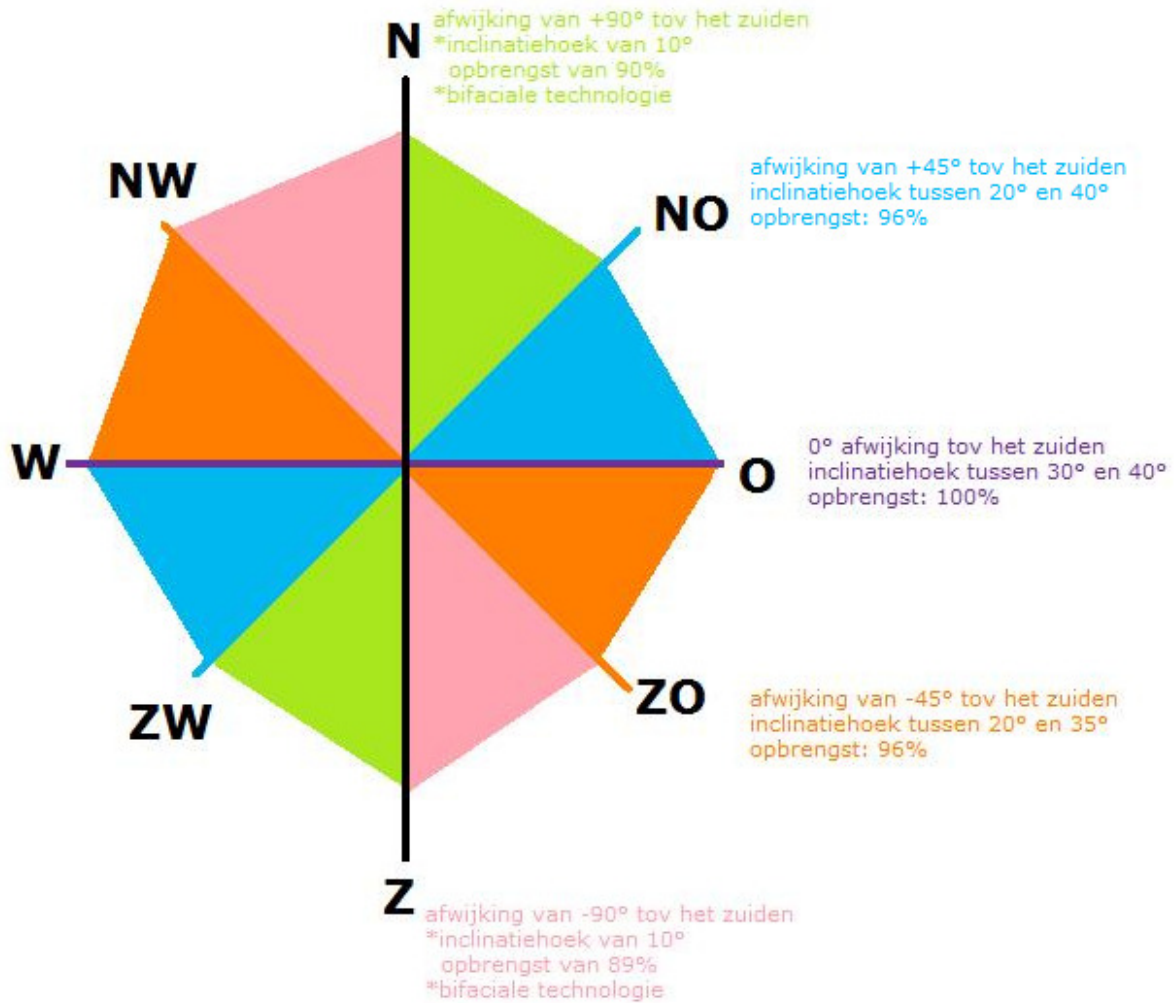
**Figuur 3. 14 Alle mogelijke oriëntaties van PV – schermen en wegen (GOETZBERGER, 1999)**



Hoewel het niet voor de hand liggend is, kunnen we stellen dat mits een kleine opoffering in opbrengst van de zonnepanelen, fotovoltaïsche geluidsschermen geplaatst kunnen worden langs elke weg, onafhankelijk van haar oriëntatie. Logischerwijze zal het PV – gedeelte steeds gericht worden naar de kant met de hoogste opbrengst, wat zowel richting als weggedraaid van de weg kan zijn. Ter verduidelijking verwijzen we naar figuur 3.15. Vooreerst zijn er de wegen die oost – west georiënteerd zijn (paarse lijn); de zonnepanelen kunnen dan optimaal naar het zuiden gericht worden, wat in België 850kWh/kWp zou opbrengen<sup>[III.35]</sup>. Indien de weg noord – oostelijk georiënteerd is (blauwe zone), hieronder verstaan we een maximale afwijking van 45° ten opzichte van het zuiden, kunnen de panelen nog steeds zuidelijk georiënteerd worden. De maximale opbrengst kan dan 96% bedragen (of 816 kWh/kWp in België), wat bereikt kan worden indien de panelen worden gemonteerd onder een hellingshoek tussen de 20° en de 40°<sup>[III.35, III.37]</sup>. De redenering is analoog voor zuid – oostelijk georiënteerde wegen (oranje zone); indien panelen richting het zuiden geplaatst worden onder een inclinatiehoek tussen 20° en 35° zal de opbrengst ook 96% bedragen<sup>[III.35, III.37]</sup>. Voor wegen die een afwijking hebben van meer dan 45° ten opzichte van het zuiden (roze en groene zone), bestaan er 2 opties. Men kan de gewone panelen richten naar het westen (brengt iets meer op dan naar het oosten), wat onder een inclinatiehoek van 10° een opbrengst zou opleveren van 90%<sup>[III.35, III.37]</sup>. Een tweede optie is het aanbrengen van bifaciale cellen, waarvan één zijde gericht is naar het westen en één naar het oosten, wat een hogere opbrengst zou opleveren. Hierbij zal steeds de meest efficiënte kant van de bifaciale module (de voorkant) gericht worden naar het westen<sup>[III.5]</sup>.



Figuur 3. 15 Oriëntatie, inclinatiehoek en opbrengst van PVNB's



Een volgend aandachtspunt betreft de bescherming tegen geluidsoverlast. Men moet steeds op voorhand vastleggen of reflectie of absorptie van het geluid vereist is. Het glazen oppervlak van de PV – modules kan alleen dienen voor reflectie van het geluid. In situaties waar absorptie gewenst is, kan zig – zag, cassette of shingle technologie worden toegepast. Deze maken een combinatie mogelijk van reflectie van het geluid enerzijds en absorptie ervan anderzijds<sup>[III.1]</sup>. Hierbij dient opgemerkt te worden dat ook alle andere technologieën gebruikt kunnen worden met als doel geluidsabsorptie, maar dan zou enkel het geluidsscherm absorberend kunnen werken, niet het PV – paneel op zich.

Onderzoek heeft aangetoond dat PV - cellen het meest efficiënt werken bij lagere temperaturen<sup>7</sup>. Bij het ontwerp van een PVNB moet dus steeds gelet worden op voldoende koeling en ventilatie van de PV - modules<sup>[III.1]</sup>. Ter illustratie kijken we naar de geluidsbarrière in Freising: het PV - veld met

<sup>7</sup> Bij polykristallijne cellen bijvoorbeeld treedt een vermogensverlies op van 0,5% per graad Celsius dat de cellen warmer zijn dan 25<sup>o</sup><sup>[III.35]</sup>

keramische modules is aan de achterkant open, zodat een goede ventilatie verzekerd is (zie figuur 3.16)<sup>[III.2]</sup>.

**Figuur 3. 16 PVNB in Freising langs achter bekeken (GROTTKE et al, z.d.)**



Bij laagsgewijze technologieën (zoals bijvoorbeeld de zig - zag technologie) moet men er altijd op letten dat er in geen geval schaduw valt op de PV - modules. Immers, dit zou leiden tot een enorme daling van de opbrengst<sup>[III.1]</sup>.

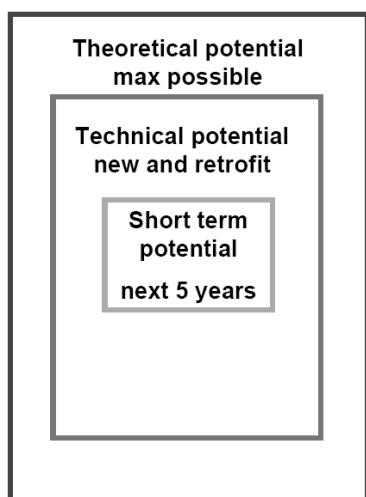
Resultaten hebben aangetoond dat vuil van de wegen een negatieve impact kan hebben op de prestatie van de PV - modules. Dit geldt vooral wanneer de modules laag bij het wegoppervlak geplaatst zijn en naar de kant van de weg zijn georiënteerd. Jaarlijks schoonmaken van de schermen, bij voorkeur na het winterseizoen, is aan te raden<sup>[III.1, III.7]</sup>.

### **3.4 Potentieel van PVNB's in Europa**

Een belangrijke vraag die we onszelf kunnen stellen is wat het potentieel is van fotovoltaïsche geluidsbarrières in Europa. Om deze vraag te beantwoorden refereren we naar een studie uitgevoerd in 1999 onder leiding van prof. A. Goetzberger<sup>[III.5]</sup>. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen het theoretisch potentieel, het technisch potentieel en het korte termijn potentieel voor de komende 5 jaar (zie figuur 3.17). De landen opgenomen in de analyse zijn Zwitserland, Duitsland, Nederland, Engeland, Italië en Frankrijk. Ook zal dieper worden ingegaan op het potentieel van andere Europese lidstaten, waaronder België. Voor deze lidstaten werd het potentieel niet in detail berekend, maar het werd afgeleid uit het potentieel van de reeds onderzochte landen<sup>[III.5]</sup>. Deze paragraaf zal eindigen met een korte bespreking van de verschillende landen.



Figuur 3. 17 Onderscheid tussen 3 verschillende potentiëlen (GOETZBERGER, 1999)



### 3.4.1 Theoretisch potentieel (CH, D, I, F, NL, UK)

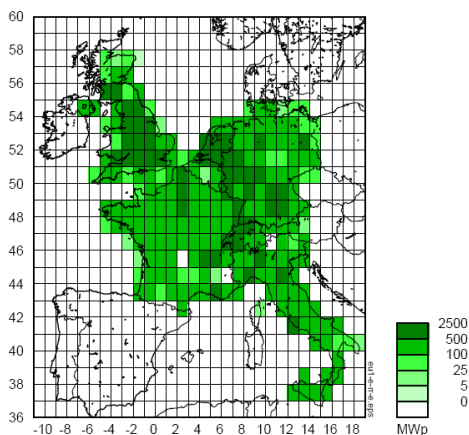
Onder het theoretisch potentieel verstaan we het maximaal mogelijke potentieel voor PVNB's. Hiertoe zouden alle bestaande auto- en spoorwegen voorzien worden van geluidsschermen en PV zou geplaatst worden onder een optimale hellingshoek. Er wordt tevens verondersteld dat de gebruikte technologieën verder ontwikkeld worden. Er wordt geen rekening gehouden met schaduw.

Het theoretisch potentieel van het verwacht geïnstalleerd vermogen is afgebeeld in figuur 3.18. Het totale theoretisch potentieel voor de 6 landen samen (Zwitserland, Duitsland, Nederland, Engeland, Italië en Frankrijk) bedraagt ongeveer 83 500 MWp. Het grootste gedeelte hiervan bevindt zich in de dichtbevolkte gebieden van Europa. Engeland en Frankrijk hebben hierin het grootste aandeel met elk 25%. In totaal is 65% van het potentieel te danken aan PVNB's langs autowegen, de resterende 35% aan schermen langs spoorwegen<sup>[III.5]</sup>.

Figuur 3. 18 Theoretisch potentieel van verwacht geïnstalleerd vermogen voor PVNB's in Zwitserland, Duitsland, Frankrijk, Italië, Nederland en Engeland (GOETZBERGER, 1999)

#### Theoretical potential for roads & railways

Potential of  
installed power  
in CH, D, F, I, NL & UK  
Total: 83452 MW<sub>p</sub>



### 3.4.2 Technisch potentieel (CH, D, I, F, NL, UK)

Om het technisch potentieel te bepalen, zouden alle bestaande en geplande geluidsschermen (geluidsschermen die gepland waren op het moment van deze studie) uitgerust worden met PV. De technologie die gebruikt wordt is state-of-the-art. Er wordt wel rekening gehouden met schaduw.

Opnieuw worden dezelfde 6 landen opgenomen in de analyse. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het technisch potentieel voor verschillende landen anders is berekend: voor Zwitserland, Duitsland en Nederland omvat het ook het korte termijn potentieel (zoals oorspronkelijk bedoeld was), voor de andere landen is dit potentieel enkel gebaseerd op de bestaande geluidsbarrières. Immers, op het moment van dit onderzoek waren geen gegevens beschikbaar over eventueel geplande geluidsbarrières.

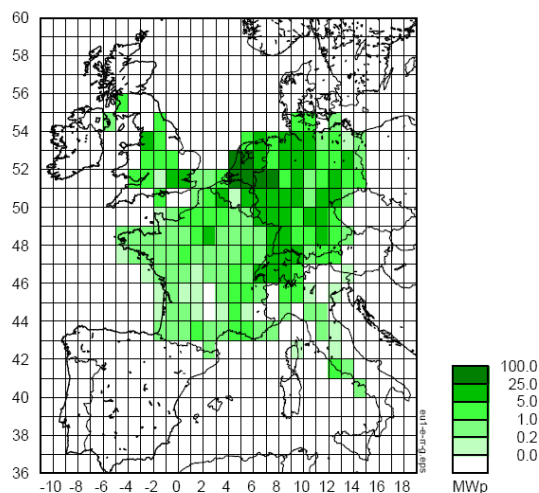
Het technische potentieel bedraagt 800 MWp voor de 6 landen samen. Hiervan is 584 MWp (73%) afkomstig van PVNB's langs autowegen. Het grootste potentieel, zowel langs autowegen als langs spoorwegen, is terug te vinden in Duitsland en Nederland<sup>[III.5]</sup>.

**Figuur 3. 19 Technisch potentieel van het verwacht geïnstalleerd vermogen voor PVNB's in Zwitserland, Duitsland, Frankrijk, Italië, Nederland en Engeland (GOETZBERGER, 1999)**

#### Technical potential for roads & railways

Potential of installed power in CH, D, F, I, NL & UK  
Total: 801 MW<sub>p</sub>

pvn3.tex 39/41



### 3.4.3 Korte termijn potentieel (CH, D, I, F, NL, UK)

Bij bepaling van het korte termijn potentieel wordt ervan uitgegaan dat alle geluidsbarrières die gepland zijn (in de komende 5 jaar na het moment van onderzoek) uitgerust zullen worden met PV. Ook hier wordt gebruik gemaakt van state-of-the-art technologieën en houdt men rekening met schaduw.

In Engeland, Frankrijk en Italië waren op het moment van onderzoek geen gegevens beschikbaar over eventueel geplande geluidsbarrières, waardoor hun korte termijn potentieel dan ook 0 bedraagt.

Echter, het werkelijke potentieel zal waarschijnlijk hoger liggen. Om een zo realistisch mogelijk beeld te geven, werd voor deze 3 landen gebruik gemaakt van het **“Europees geëxtrapoleerd potentieel”**. Bij de berekening hiervan werd de lengte van de auto- en spoorwegen van het betreffend land (Engeland, Frankrijk, Italië) gecorreleerd met het gemiddelde korte termijn potentieel van de andere landen in het onderzoek (Zwitserland, Duitsland, Nederland).

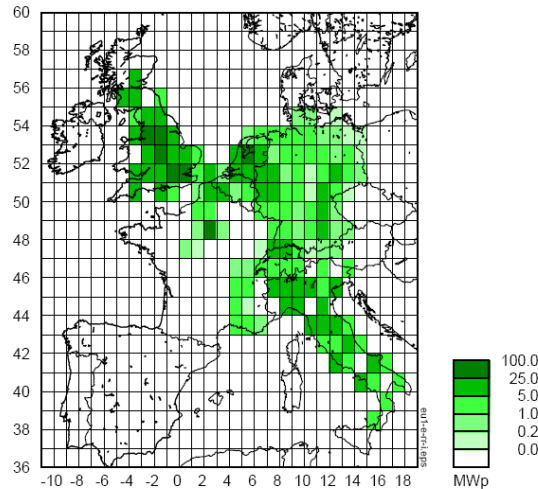
Het resultaat is terug te vinden in figuur 3.20. Indien we rekening houden met het geëxtrapoleerd potentieel komen we uit op een totaal potentieel (voor de 6 landen samen) van 936 MWp. Hiervan is 60% gelokaliseerd langs autowegen<sup>[III.5]</sup>.

**Figuur 3. 20 Europees geëxtrapoleerd potentieel van het verwacht geïnstalleerd vermogen in Zwitserland, Duitsland, Frankrijk, Italië, Nederland en Engeland (GOETZBERGER, 1999)**

### Eu. extrapolated pot. for roads & railways

Potential of installed power in CH, D, F, I, NL & UK  
Total: 936 MW<sub>p</sub>

pvn3.tex 41/41



### 3.4.4 Potentieel van andere lidstaten binnen de EU

Een aantal Europese landen, waaronder België, werden in dit onderzoek niet in detail onderzocht. Bijgevolg werd in de studie van Goetzberger een EU – lidstaat potentieel gedefinieerd: de lengtes van de auto- en spoorwegen van de niet – onderzochte landen werden vermenigvuldigd met de gemiddelde ratio die gevonden werd bij de onderzochte landen. Op deze manier werden resultaten bekomen voor België, Denemarken, Griekenland, Ierland, Luxemburg, Portugal en Spanje. De resultaten zijn hieronder terug te vinden.

In tabel 3.2 concentreren we ons op de cijfers uitgedrukt in MWp, die weergeven wat het potentieel is van het verwacht geïnstalleerd vermogen (de cijfers uitgedrukt in GWh/jaar hebben betrekking op het potentieel van de verwachte elektriciteitsproductie). We kunnen aflezen dat het theoretisch potentieel voor ons land respectievelijk 2394MWp en 1961MWp bedraagt voor autowegen en spoorwegen, of 4355MWp in totaal.

Tabel 3. 2 Bepaling van het potentieel van België, Denemarken, Griekenland, Ierland, Luxemburg, Portugal en Spanje (GOETZBERGER, 1999)

Potential length		EU Members	Belgium	Denmark	Greece	Ireland	Luxembourg	Portugal	Spain	Total
Road	length	km	2000	1000	500	200	100	500	3000	7300
Road	Theoretical	[GWh/a]	2168	1084	542	217	108	542	3252	7914
	Technical	[GWh/a]	21.9	10.9	5.5	2.2	1.1	5.5	32.8	80
	Short-term	[GWh/a]	21.6	10.8	5.4	2.2	1.1	5.4	32.3	79
Rail	Theoretical	[MW <sub>p</sub> ]	2394	1197	599	239	120	599	3591	8738
	Technical	[MW <sub>p</sub> ]	25.7	12.8	6.4	2.6	1.3	6.4	38.5	94
	Short-term	[MW <sub>p</sub> ]	25.0	12.5	6.3	2.5	1.3	6.3	37.5	91
Rail	length	km	2294	230	1242	37	197	461	6416	10877
Rail	Theoretical	[GWh/a]	1780	179	964	29	153	358	4980	8442
	Technical	[GWh/a]	12.6	1.3	6.8	0.2	1.1	2.5	35.1	60
	Short-term	[GWh/a]	128.4	12.9	69.5	2.1	11.0	25.8	359.0	609
Rail	Theoretical	[MW <sub>p</sub> ]	1961	197	1062	32	168	394	5486	9300
	Technical	[MW <sub>p</sub> ]	14.7	1.5	7.9	0.2	1.3	2.9	41.0	70
	Short-term	[MW <sub>p</sub> ]	24.8	2.5	13.4	0.4	2.1	5.0	69.3	118

De cijfers uit bovenstaande tabel voor ons land zijn, zoals net vermeld, niet in detail berekend maar afgeleid uit het onderzoek naar de andere onderzochte landen. In het kader van deze eindverhandeling leek het zinvol om de specifieke veronderstellingen van dit onderzoek na te gaan. Ter volledigheid heb ik getracht zelf het theoretisch potentieel te bepalen in België, respectievelijk Vlaanderen, aan de hand van zo realistisch mogelijke assumpties die momenteel gelden in België. De resultaten zijn hieronder terug te vinden in Tabel 3. 3 en Tabel 3. 4, de berekeningen in Bijlage 10: Bepaling potentieel België volgens Goetzberger en volgens eigen veronderstellingen.

Tabel 3.3 bespreekt de veronderstellingen aangenomen in de studie van Goetzberger enerzijds en in de eigen berekening anderzijds. Goetzberger heeft gewerkt met een totale lengte van het Belgische snelwegennetwerk van 2000 km<sup>[iii.5]</sup>, wat een lichte overschatting is ten opzichte van de werkelijke 1763,3km<sup>[iii.25]</sup>. De lengte van het spoorwegennet in België bedraagt momenteel 3233km, wat onderschat werd door Goetzberger.

Wat betreft het type PVNB – technologie, ga ik in mijn eigen berekeningen uit van een eenvoudige structuur, waarbij de panelen schuin tegen het geluidsscherm, onder een optimale hellingshoek gemonteerd worden (zie Bijlage 5: Schematische voorstelling van fotovoltaïsche geluidsschermen). In het verdere verloop van deze eindverhandeling zal naar deze technologie verwezen worden als de “front – mounted structuur”. In de studie van Goetzberger wordt niet gepreciseerd met welke technologie gewerkt wordt; wel wordt vermeld dat PV onder een optimale hellingshoek gemonteerd wordt. Verder wordt zowel in de eigen berekening als in die van Goetzberger uitgegaan van het feit dat er bifaciale cellen worden geplaatst indien de oriëntatie van de snelweg dit vereist. Er wordt verondersteld dat de opbrengst van deze bifaciale cellen even groot is als de opbrengst van gewone zonnecellen die optimaal zuidelijk georiënteerd zijn.

Een volgend aandachtspunt betreft het vermogen en de afmetingen van de zonnepanelen. In de eigen berekening werk ik met zonnepanelen die in 2010 als “standaard” worden aanzien, namelijk

panelen met afmetingen van 1m breed op 1,6m hoog en een vermogen van 230Wp<sup>[III.35]</sup>. De panelen zullen, analoog aan de panelen in de gevalstudie (hoofdstuk 4) in de breedte geplaatst worden onder een optimale inclinatiehoek, 4 rijen onder elkaar (zie Bijlage 5: Schematische voorstelling van fotovoltaïsche geluidsschermen). In de studie van Goetzberger zijn geen gegevens beschikbaar over het aantal gemonteerde panelen, maar deze zijn eenvoudig af te leiden uit de resultaten. Indien in de studie van Goetzberger gewerkt zou worden met dezelfde standaardpanelen van 1,6m breed en 1m hoog, geldt de assumptie dat langs autowegen ongeveer 8 en langs spoorwegen ongeveer 6 rijen onder elkaar geplaatst zouden worden (berekeningen zie Bijlage 10: Bepaling potentieel België volgens Goetzberger en volgens eigen veronderstellingen). Twee aspecten waar rekening mee gehouden dient te worden bij het plaatsen van fotovoltaïsche geluidsschermen is de hoogte van het geluidsscherm enerzijds en de ruimte langs de weg die de schermen vereisen anderzijds. Wanneer men zou werken met 6 rijen PV - panelen onder elkaar, zoals in de studie van Goetzberger langs spoorwegen, zou men een vrije ruimte naast het geluidsscherm nodig kunnen hebben van 5,63m lang of een geluidsscherm van 5,25m hoog. Wanneer er 8 rijen panelen worden gemonteerd, zoals in de studie van Goetzberger langs autowegen, zouden deze getallen oplopen tot respectievelijk 7,52m en 6,65m (zie Bijlage 5: Schematische voorstelling van fotovoltaïsche geluidsschermen). Echter, in België is een geluidsscherm slechts 3-5m hoog en is de vrije ruimte langs drukke wegen vaak beperkt, zeker op plaatsen waar geluidsschermen geplaatst worden (meestal vlakbij een woonwijk). Dit in overweging genomen, zou het volgens mij niet realistisch zijn om te werken met meer dan 4 rijen panelen onder elkaar.

Verder is er nog een veronderstelling die sterk afwijkt in de studie van Goetzberger, namelijk de gemiddelde jaarlijkse opbrengst van zonnepanelen. Ook dit cijfer wordt in de studie niet vermeld, maar kan afgeleid worden uit de resultaten en bedraagt 905kWh/kWp (berekeningen zie Bijlage 10: Bepaling potentieel België volgens Goetzberger en volgens eigen veronderstellingen). Dit cijfer is een gemiddelde van de onderzochte landen in de studie (Zwitserland, Nederland, Engeland, Frankrijk, Duitsland en Italië). Hoewel ik niet tegenspreek dat dit cijfer correct het gemiddelde zou kunnen weergeven van de opbrengst in deze landen, dient opgemerkt te worden dat dit cijfer te hoog ligt voor België. In mijn eigen berekening heb ik gewerkt met een cijfer aangegeven door PV – specialisten, namelijk 800kWh/kWp<sup>[III.35]</sup>. Dat houdt in dat de gemiddelde opbrengst van een PV – paneel 94% zou bedragen, wat een realistische veronderstelling lijkt. Wat betreft het aspect schaduw, kan worden opgemerkt dat hier in beide studies geen rekening mee wordt gehouden.

Tabel 3. 3 Veronderstellingen met betrekking tot bepaling van het theoretisch potentieel van PVNB's in België

Veronderstellingen	Eigen berekening	Studie Goetzberger
<b>Lengte autosnelwegen België</b>	1763,3km waarvan -883km in Vlaanderen	2000km
<b>Lengte spoorwegen in België</b>	3233km waarvan -1756km in Vlaanderen	2294km
<b>PVNB - technologie</b>	-Front – mounted structuur -Indien nodig, bifaciale technologie	-? -Indien nodig, bifaciale technologie
<b>Zonnepanelen (standaard 2010)</b>	Breedte: 1,6m Hoogte: 1m Vermogen: 230Wp 4 rijen onder elkaar	Breedte: 1,6m Hoogte: 1m Vermogen:230Wp -langs autosnelweg:8,33 rijen -langs spoorweg:5,95 rijen
<b>Gemiddelde jaarlijkse opbrengst zonnepanelen België onder een optimale inclinatiehoek</b>	800kWh/kWp	905kWh/kWp
<b>Schaduw</b>	Wordt geen rekening mee gehouden	Wordt geen rekening mee gehouden

Tabel 3.4 geeft de resultaten weer van het potentieel in België berekend aan de hand van de eigen veronderstellingen. Ter vergelijking worden ook de resultaten van Goetzberger weergegeven. Volgens eigen berekeningen bedraagt het theoretisch potentieel van PVNB's in België langs autosnelwegen 1013,9MWp (811GWh/jaar) en 1859MWp (1487GWh/jaar) langs spoorwegen. Hiervan is 507,7MWp (406GWh/jaar) respectievelijk 1009,7MWp (808GWh/jaar) afkomstig uit Vlaanderen. Grofweg kunnen we stellen dat de resultaten uit de studie van Goetzberger anderhalve keer hoger liggen dan de eigen resultaten. Dit verschil is toe te schrijven aan 2 belangrijke factoren, namelijk het aantal panelen dat onder elkaar wordt geplaatst enerzijds en de opbrengst van de panelen uitgedrukt in kWh/kWp anderzijds.

Tabel 3. 4 Vergelijking theoretisch potentieel volgens eigen onderzoek en volgens studie Goetzberger

Potentieel	Eigen berekening		Studie Goetzberger
	België	Vlaanderen	België
<b>Autosnelwegen</b>	1013,9MWp 811GWh/jaar	507,7MWp 406GWh/jaar	2394MWp 2168GWh/jaar
<b>Spoorwegen</b>	1859MWp 1487GWh/jaar	1009,7MWp 808GWh/jaar	1961MWp 1780GWh/jaar
<b>Totaal</b>	<b>2872,9MWp</b> <b>2298GWh/jaar</b>	<b>1517,4MWp</b> <b>1214GWh/jaar</b>	<b>4355MWp</b> <b>3948GWh/jaar</b>

### 3.4.5 Bespreking

#### 3.4.5.1 Algemene bespreking van de individuele landen

- **Zwitserland**

Het idee om PVNB's te lanceren is afkomstig uit Zwitserland. In Zwitserland is er momenteel een totaal geïnstalleerd vermogen van ongeveer 545,6kWp geïnstalleerd, waarmee Zwitserland het derde land wordt op de Europese ranglijst, na Duitsland en Italië<sup>[III.1,III.4,III.5,III.9,III.10]</sup>. De technologie heeft daar het voordeel dat er grote interesse en goodwill is van verschillende personen waaronder belangengroepen, gemeenschappen en private personen. De voorwaarden in Zwitserland zijn zeer gunstig om een groot aandeel in de potentiëlen te veroveren. Een overzicht van het potentieel in Zwitserland is terug te vinden in tabel 3.5<sup>[III.5]</sup>.

- **Duitsland**

Duitsland staat op dit moment op nummer 1 van de Europese landen, met een totaal geïnstalleerd vermogen van 1,3MWp<sup>[III.1,III.4,III.5,III.9,III.10]</sup>. Een eerste verklaring hiervoor is terug te vinden in het feit dat Duitsland gekenmerkt wordt door een hoge dichtheid van auto- en spoorwegen. Verder worden fotovoltaïsche geluidsschermen in Duitsland in het algemeen goed aanvaard door het publiek; er heeft in Duitsland dan ook altijd een grote vraag bestaan naar de constructie van PVNB's<sup>[III.5]</sup>.

De heer Vontobel van TNC Consulting AG merkt op dat de meest belangrijke factor die verklaart waarom Duitsland een koploper is met betrekking tot PVNB's het hoge tarief is dat in Duitsland verkregen wordt voor levering van PV – stroom aan het net. Voor fotovoltaïsche geluidsschermen met een vermogen tussen de 100kWp en 1MWp, waar bijna alle PVNB's onder vallen, bedraagt dit tarief 39,58cent per kilowattuur geleverd aan het net. In Duitsland wordt de groene stroom opgewekt door een PVNB in Duitsland bijna nooit rechtstreeks verbruikt, maar steeds geleverd aan het net<sup>[III.29]</sup>. Echter, de komende jaren gaat dit tarief worden afgebouwd, met hoeveel precies is momenteel nog onzeker<sup>[III.29, III.16]</sup>.

In Duitsland gebeurt de investering in het geluidsscherm zelf meestal door de overheid. Er bestaan in Duitsland dan ook duidelijke regels over welke gebieden beschermd moeten worden tegen geluidsoverlast. Echter, indien het een spoorweg betreft, kan het ook een spoorwegbedrijf zijn dat de investering in het geluidsscherm op zich neemt. De investering in het PV – gedeelte daarentegen gebeurt gewoonlijk door privébedrijven of meer specifiek energiebedrijven, die daarna de opgewekte energie doorverkopen aan hun klanten. In Duitsland is het ook al voorgekomen dat de stad zelf investeert in het fotovoltaïsch gedeelte, met als doel het opbouwen van een beter imago

door het opwekken van groene energie. Volgens de ervaring van de heer Vontobel is het allemaal een kwestie van goede communicatie; vaak is degene die het geluidsscherm financiert niet bereid om ook het PV – deel te financieren, maar indien er reeds goede contacten zijn met een betrouwbare partner zijn de investeerders zeker bereid het geluidsscherm ter beschikking te stellen om PV op te laten plaatsen<sup>[III.29]</sup>.

Verder is de heer Vontobel ervan overtuigd dat een PVNB ruim voor het einde van de levensduur breakeven is. Data is namelijk bijgehouden van het allereerste fotovoltaïsch geluidsscherm, gebouwd in 1989 in Zwitserland, waaruit gebleken is dat het scherm nu (21 jaar later) bijna breakeven is. Ondertussen is volgens de heer Vontobel de gehele kost voor het plaatsen van een PVNB met ongeveer 80% gedaald, waardoor het breakeven – punt veel sneller bereikt kan worden. Hierbij dient wel in het achterhoofd gehouden te worden dat de hoge subsidies een belangrijke rol spelen in de economische analyse<sup>[III.29]</sup>.

- **Nederland**

In Nederland is de houding van de partijen die betrokken zijn bij het oprichten van PVNB's neutraal tot positief. Struikelblokken voor de implementatie van deze barrières waren onder andere het groot aantal partijen betrokken bij de oprichting van PVNB's en de economische haalbaarheid van de projecten<sup>[III.5]</sup>.

De dag van vandaag zijn 2 fotovoltaïsche geluidsschermen terug te vinden in Nederland (in Utrecht en Amstelveen) met een gezamenlijk vermogen van 271kWp. De gemeente zelf is eigenaar van de geluidsschermen; Nuon, een energiebedrijf in Nederland, is eigenaar van het PV – gedeelte. De fotovoltaïsche geluidsscherm in Amstelveen werd gefinancierd door Energie Noord West (ENW) Duurzame Energie, één van de rechtsvoorgangers van Nuon, medegefinancierd door de projectpartners ECN, TNC en Fraunhofer, die samen 51% van de projectkosten voor hun rekening hebben genomen. Verder werd het project gesubsidieerd door Novem (Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu) en de EU die respectievelijk 24 en 25% van de kosten hebben gedekt. Eric Visser van ENW merkt op dat dit project met betrekking tot financiering waarschijnlijk een eenmalig project is, gezien de vele subsidiestromen waar gebruik van gemaakt is kunnen worden. Deze investering werd gedaan met 4 vooropgestelde doelstellingen in het achterhoofd<sup>[III.34]</sup>. Een eerste doelstelling was gericht op het stimuleren van de PV – markt; er werd vooropgesteld om het afzetvolume van AC – modules en de toepassing van PV op geluidsschermen op te schalen. Een tweede doelstelling was demonstratiegericht; de demonstratie van een integraal projectontwerp en managementaanpak en demonstratie van toepassing van circa 2200 AC – modules. Ten derde werden experimentele doelstellingen beoogd; het testen van de performantie van de AC – modules,



onderzoek naar de invloed op het net van een groot aantal AC – modules en het vergelijken van verschillende merken van omvormers. Een vierde en laatste doelstelling was specifiek gericht op het verwerven van publiciteit voor ENW, met als doel het verwerven van prestige en het opkrikken van hun imago door het innovatief investeren in een groenere toekomst. Volgens Marten Boerema, adjunct-directeur projectontwikkeling bij Van Wijnen Projectontwikkeling Midden, zijn de PV – geluidsschermen in Nederland niet winstgevend. Een mogelijke verklaring hiervoor is de subsidieregeling in Nederland, die zeker niet bekend staat om zijn hoogte of continuïteit. Wel merkt de heer Boerema op dat de constructie van deze schermen dateert van meer dan 10 jaar geleden en dat in de tussentijd de PV – technologie heel wat goedkoper is geworden <sup>[III.30,III.34]</sup>.

- **Engeland**

In Engeland is het werkelijke potentieel voor het gebruik van PV - geluidsmuren eerder laag. Dit komt onder andere door het geringe gebruik van geluidsbarrières langs auto- en spoorwegen, het gebrek aan formele motivatie om PV aan het net te leveren en het geringe programma voor het bouwen van wegen in de komende jaren. De houding ten opzichte van het gebruik van PV als energiebron is in het algemeen positief, maar om een positieve houding te verkrijgen ten opzichte van PVNB's is realisatie van de schermen zelf onmisbaar. In Engeland is tot op de dag van vandaag nog geen enkele fotovoltaïsche geluidsbarrière terug te vinden.

- **Italië**

Voor Italië kunnen we grofweg dezelfde conclusie trekken als voor Engeland <sup>[III.5]</sup>. Voor een overzicht van het potentieel verwijzen we weer naar tabel 3.5. In Italië is dit jaar de eerste PVNB gebouwd met een vermogen van 730kWp, waarmee Italië onmiddellijk nummer 2 wordt van de Europese landen <sup>[III.4]</sup>.

- **Frankrijk**

Wat betreft Frankrijk kunnen we stellen dat het huidige potentieel van PVNB's eerder laag is. De meest belangrijke obstakels zijn de zeer lage prijs die betaald wordt voor levering van PV - elektriciteit aan het net en een gebrek aan informatie over de schermen bij gespecialiseerde professionals en beslissingmakers. Wat er in Frankrijk zou moeten gebeuren om deze struikelblokken te overwinnen is vooreerst de druk verhogen om de prijs voor PV geleverd aan het net te verhogen; vervolgens zullen ook de geschikte personen geïnformeerd en overtuigd moeten worden om PVNB's te realiseren <sup>[III.5]</sup>. Momenteel is er 1 demoproject terug te vinden in Frankrijk (Foquièrre), gerealiseerd in 1999 <sup>[III.4]</sup>.

Tabel 3. 5 Overzicht potentieel Zwitserland, Duitsland, Nederland, Engeland, Italië en Frankrijk (uitgedrukt in MWp)

		<b>Theoretisch potentieel (MWp)</b>	<b>Technisch potentieel (MWp)</b>	<b>KT potentieel (MWp)</b>
Zwitserland	autowegen	2236	58,5	20,1
	spoorwegen	1422	14,9	11,9
	<b>Totaal</b>	<b>3658</b>	<b>73,4</b>	<b>32</b>
Duitsland	autowegen	13183	293,8	70,3
	spoorwegen	5687	94,5	63,6
	<b>Totaal</b>	<b>18870</b>	<b>388,3</b>	<b>133,9</b>
Nederland	autowegen	3233	114,6	50,6
	spoorwegen	2620	82,4	69,3
	<b>Totaal</b>	<b>5854</b>	<b>197</b>	<b>119,9</b>
Engeland	autowegen	12917	39,3	254
	spoorwegen	8522	2,6	131
	<b>Totaal</b>	<b>21439</b>	<b>41,9</b>	<b>385</b>
Italië	autowegen	8176	9,8	111,6
	spoorwegen	4121	1,1	57,6
	<b>Totaal</b>	<b>12297</b>	<b>10,9</b>	<b>169,3</b>
Frankrijk	autowegen	14669	67,9	61,7
	spoorwegen	6712	21,9	34,2
	<b>Totaal</b>	<b>21381</b>	<b>89,8</b>	<b>95,9</b>
<b>TOTAAL VAN DE 6 LANDEN</b>		<b>83499</b>	<b>801,3</b>	<b>936</b>

- **Toelichting**

We merken op dat bij de laatste 3 besproken landen (Engeland, Italië en Frankrijk) het korte termijn potentieel groter is dan het technisch potentieel, wat zeer onlogisch lijkt. De verklaring hiervoor (reeds besproken) is te vinden in het feit dat er in deze landen geen gegevens beschikbaar waren over eventueel geplande geluidsbarrières. Daarom zijn bij de bepaling van het technische potentieel (dat normaal rekening houdt met geplande en bestaande NB's) van deze 3 landen enkel de bestaande geluidsbarrières opgenomen. Het korte termijn potentieel (dat enkel rekening houdt met geplande NB's) voor deze landen bedraagt in theorie 0. Om een zo realistisch mogelijk beeld te geven, heeft men in de studie gewerkt met een afgeleid (geëxtrapoleerd) korte termijn potentieel

voor deze 3 landen. Om een vergelijking toe te laten van beide potentiëlen had men misschien beter ook bij het technisch potentieel het korte termijn geëxtrapoleerd potentieel in rekening gebracht.

### 3.4.5.2 Energie – economische relevantie van de potentiëlen

Een belangrijk aandachtspunt met betrekking tot de bekomen cijfers is de energie-economische relevantie van deze potentiëlen. In volgende tabel is terug te vinden welk aandeel het theoretisch, technisch en het korte termijn potentieel hebben in de totale nationale elektriciteitsproductie en het totaal geïnstalleerd vermogen van de onderzochte landen<sup>[III.5]</sup>. Wat betreft het theoretisch potentieel, zouden PVNB's voor de 6 landen samen 21,21% van het totaal geïnstalleerd vermogen voor hun rekening kunnen nemen. Voor het technisch potentieel en geëxtrapoleerd (korte termijn) potentieel zijn deze cijfers aanzienlijk lager, namelijk 0,20% en 0,24% respectievelijk<sup>[III.5]</sup>.

Tabel 3. 6 Aandeel van de PVNB - potentiëlen in de nationale energiesector in Zwitserland, Duitsland, Nederland, Engeland, Italië en Frankrijk (GOETZBERGER, 1999)

Year of data	1995	1995	1995	1995	1995	1995	All six countries	Average of all countries
	CH	D	NL	UK	I	F		
<b>Theoretical Potential</b>								
Share of PV in electricity generation [%]	5.42%	3.00%	5.79%	4.89%	5.80%	4.16%	4.29%	4.29%
Share of PV in installed power [%]	22.15%	16.38%	32.07%	30.51%	18.66%	19.87%	21.21%	21.21%
<b>Technical Potential</b>								
Share of PV in electricity generation [%]	0.11%	0.06%	0.19%	0.01%	0.00%	0.02%	0.04%	0.04%
Share of PV in installed power [%]	0.44%	0.34%	1.08%	0.06%	0.02%	0.08%	0.20%	0.20%
<b>European Extrapolated Potential</b>								
Share of PV in electricity generation [%]	0.05%	0.02%	0.12%	0.09%	0.08%	0.02%	0.05%	0.05%
Share of PV in installed power [%]	0.19%	0.12%	0.66%	0.55%	0.26%	0.09%	0.24%	0.24%

Het theoretisch potentieel voor de 6 landen samen bedraagt 75 051,7GWh/jaar<sup>[III.5]</sup>. Ter vergelijking, een gemiddeld gezin verbruikt ongeveer 3500-4000kWh per jaar. Wanneer wordt uitgegaan van de resultaten van deze studie zouden dus jaarlijks tussen de 18 en de 21 miljoen gezinnen van stroom kunnen worden voorzien in Zwitserland, Duitsland, Nederland, Engeland, Italië en Frankrijk samen.

Tenslotte merken we op dat een grootschalig zonnepark in België een vermogen heeft van ruwweg 2-5MWp en een oppervlakte die kan oplopen tot meer dan 10ha<sup>[III.18,III.19,III.20]</sup>. Het theoretisch potentieel van PVNB's in België bedraagt minimaal 2872,9MWp (zie tabel 3.4), waarmee ongeveer 600 000 gezinnen van groene stroom zouden kunnen worden voorzien. Wanneer dit fotovoltaïsch vermogen geïnstalleerd zou worden op geluidsschermen in plaats van zonneparken op de begane grond, zou een grote oppervlakte bespaard kunnen worden.

## 3.5 Geluidsschermen

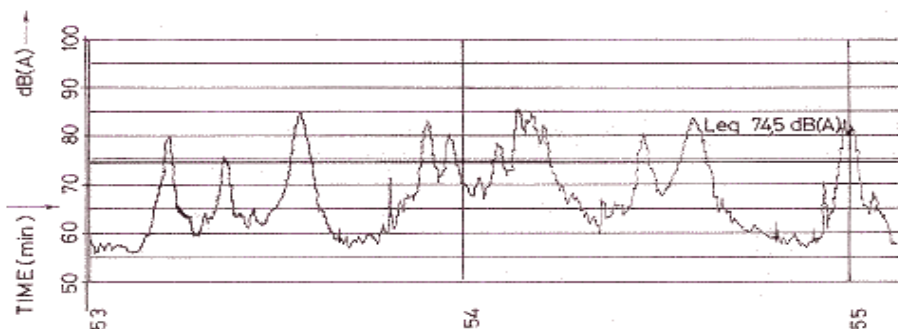
### 3.5.1 Gebruikte eenheden en grootheden

Het geluidsdruk niveau wordt uitgedrukt in decibel (dB), een logaritmische schaal. Dit wilt zeggen dat een verhoging van het geluid van 10dB fysisch overeenkomt met een vertienvoudiging van het geluidsniveau. Door de gevoeligheid van het menselijk gehoor wordt een toename van 10 dB ervaren als een verdubbeling van het geluidsniveau. Logischerwijze betekent dat dus ook dat een verlaging van 10dB, wat kan bereikt worden met een geluidsscherm, voor het menselijk gehoor overeenkomt met een halvering van het geluidsniveau. Het referentieniveau van 0dB is het zwakste geluid met een frequentie van 1000Hz dat een persoon met een normaal gehoor kan waarnemen in een geluidsvrije ruimte<sup>[III.22,III.23,III.31]</sup>.

In de literatuur wordt er steeds verwezen naar dB(A), wat gelezen wordt als “decibel A – gewogen”. De A staat in dit geval voor de A – filter, een filter toegepast voor wegverkeerslawaai. Deze filter of wegingcurve houdt rekening met het feit dat het menselijk gehoor niet voor alle frequenties even gevoelig is. De A – filter zorgt ervoor dat lage frequenties in sterke mate en hoge frequenties in mindere mate afgezwakt worden ten opzichte van de fysische werkelijkheid. Op deze manier wordt rekening gehouden met de subjectieve indruk van het geluid, zoals deze wordt gepercipieerd door de mens<sup>[III.22,III.23,III.31]</sup>.

Om het verkeersgeluid te evalueren gebruikt men meestal niet de maximum voorkomende geluidsniveaus, maar wel het energetisch gemiddelde geluidsniveau gedurende een zekere periode. Er wordt dan ook gebruik gemaakt van het “continu equivalent geluidsniveau”  $L_{Aeq}$ . Het  $L_{Aeq}$  is een fictief, constant geluidsniveau dat dezelfde geluidsenergie inhoudt als het werkelijk schommelend geluid gedurende een bepaalde tijdspanne<sup>[III.22,III.23]</sup>. Deze definitie wordt duidelijker met behulp van figuur 3.21: het  $L_{Aeq}$  – geluidsniveau bedraagt 74,5dB(A), terwijl het werkelijk geluidsniveau voortdurende schommelt tussen de 55 en 85dB(A).

Figuur 3. 21 Fluctuerend geluidsniveau en continu equivalent geluidsniveau (wegen.vlaanderen.be)



Verder wordt er een onderscheid gemaakt tussen  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$ ,  $L_{den}$  en  $L_{etm}$ . Elk etmaal (24 uur) wordt opgedeeld in 3 delen, namelijk “dag” van 7u ’s morgens tot 19u ’s avonds, “avond” van 19u tot 23u en “nacht” van 23u tot 7u.  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  en  $L_{night}$  zijn respectievelijk het gemiddelde geluidsniveau dat overdag, ’s avonds en ’s nachts wordt gemeten<sup>8</sup>.  $L_{den}$  kan vervolgens berekend worden uit  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  en  $L_{night}$  aan de hand van volgende formule<sup>[III.24,III.28]</sup>:

$$L_{den} = 10 * \log\left[\frac{12}{24} * 10^{L_{day}/10} + \frac{4}{24} * 10^{(L_{evening}+5)/10} + \frac{8}{24} * 10^{(L_{night}+10)/10}\right] dB(A)$$

Uit deze formule blijkt dat  $L_{den}$  het tijd - gewogen gemiddelde is van  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  en  $L_{night}$ , en dat bovendien ook rekening gehouden wordt met wat men noemt “straffactoren”: om te compenseren voor de extra hinder die ’s avonds en ’s nachts wordt ondervonden, worden straffactoren van 5 respectievelijk 10dB toegekend.  $L_{den}$  is een veelgebruikte eenheid in de literatuur.

$L_{etm}$  tenslotte, wat niet zo vaak voorkomt in de literatuur, is het maximum van de periode bestraftte equivalente geluidsniveaus. In formulevorm ziet dit er als volgt uit<sup>[III.24]</sup>:

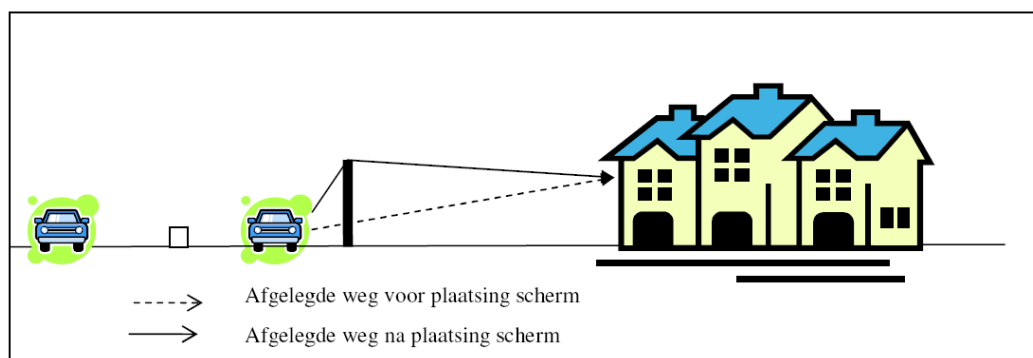
$$L_{etm} = \max(L_{day}; L_{evening} + 5; L_{night} + 10)dB(A)$$

### 3.5.2 Werking en effect van een geluidswerend scherm

Een geluidsscherm is per definitie een “scherm dat geluid weert of kanaliseert”<sup>[III.8]</sup>. Geluidswerende schermen kunnen naast drukke wegen geplaatst worden, om omwonenden te beschermen tegen lawaai afkomstig van het wegverkeer.

In afwezigheid van een geluidsscherm, kan het geluid zich vrij voortplanten van de bron (het wegverkeer) tot bij de ontvanger (de omwonenden). Door het plaatsen van een geluidsscherm tussen de weg en de woningen, wordt als het ware een obstakel gevormd voor het voortbewegende geluid; dit is simplistisch voorgesteld in figuur 3.22<sup>[III.26]</sup>.

Figuur 3. 22 Werking van een geluidsscherm (voor een ontvanger op korte afstand) (wegen.vlaanderen.be)



<sup>8</sup>  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  en  $L_{night}$  zouden respectievelijk ook kunnen worden weergegeven als  $L_{Aeq,day}$ ,  $L_{Aeq,evening}$  en  $L_{Aeq,night}$

Het geluid achter het scherm is afkomstig van 3 verschillende bronnen. In de eerste plaats zijn er golven die zich over het scherm buigen, en zo achter het scherm (bij de ontvanger) terechtkomen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze golven zich over het scherm moeten buigen om aan de overkant te geraken, waardoor de golven een langere afstand moeten afleggen dan wanneer er geen scherm zou zijn. Het effect hiervan is dat het geluid wordt afgezwakt. Ten tweede komen ook geluidsgolven die door het scherm heen kunnen aan de overkant terecht. Hiertoe is het noodzakelijk dat een geluidsscherm steeds voldoende geluidsisolerend is, zodat geluidsgolven die zich rechtstreeks door het scherm voortplanten voldoende worden verzwakt. Geluidsisolerende eigenschappen van een scherm worden bepaald door de massa, het materiaal en de dikte van het scherm. Tenslotte moet rekening gehouden worden met geluidsgolven die langs de uiteinden van het scherm aan de achterkant van het scherm geraken. Er moet dus op toegezien worden dat een geluidsscherm steeds voldoende lang is<sup>[III.26]</sup>.

Er zijn nog een heel aantal andere factoren die een invloed hebben op de mate van afzwakking van het geluid door een geluidsscherm, zoals de ligging van de woningen, de geluidsabsorberende eigenschappen van het scherm, de frequentie van het geluid,... Voor een bespreking van deze eigenschappen verwijzen we naar Bijlage 1: beïnvloedende factoren op de mate van afzwakking van het geluid door een geluidsscherm.

Indien rekening wordt gehouden met alle bovengenoemde parameters, kan een geluidsscherm ervoor zorgen dat in een zone dicht achter het scherm een vermindering van het equivalente geluidsniveau ( $L_{Aeq}$ ) van 10 dB(A) wordt bekomen. Naarmate de afstand tot het scherm toeneemt, vermindert de reductie van het geluidsniveau. Op een afstand van 250m van het scherm is de  $L_{Aeq}$  -verlaging beperkt tot slechts enkele dB(A)<sup>[III.26, III.27, III.31]</sup>. Het effect van een geluidsscherm op de omwonenden wordt duidelijk weergegeven in hoofdstuk 4 (Figuur 4. 3, Figuur 4. 4 en Figuur 4. 5).

### **3.5.3 Regelgeving**

De bestrijding van de geluidshinder is in principe een gewestelijke (Vlaamse) bevoegdheid. Toch spelen ook andere niveaus (gemeente, federale overheid, Europa) een belangrijke rol<sup>[III.11]</sup>. In dit onderdeel zal een zo volledig mogelijk overzicht gegeven worden van de relevante regelgeving die bestaat omtrent geluidswerende schermen op Vlaams grondgebied. Hierbij maken we een onderscheid tussen regelgeving in verband met geluidsnormen, financiering en technische eisen gesteld aan geluidsschermen. De paragraaf zal afsluiten met regelgeving specifiek over fotovoltaïsche geluidsschermen.

### **3.5.3.1 Geluidsnormen in Vlaanderen**

- **Wet van 18 juli 1973 betreffende de bestrijding van de geluidshinder**

Reeds in 1973 werd een kaderwet voorzien met betrekking tot bestrijding van de geluidshinder. In deze wet worden enkele zeer algemene bepalingen vastgelegd, zoals bijvoorbeeld “De Koning kan maatregelen treffen om de geluidshinder veroorzaakt onder meer door motorvoertuigen te bestrijden.”<sup>[III.14]</sup>

- **Vlarem II**

In uitvoering van de wet ter bestrijding van de geluidshinder werden in VLAREM II onder meer milieukwaliteitsnormen voor geluid in open lucht vastgesteld. Echter, voor het spoor – en wegverkeer zijn er voorlopig nog geen wettelijke richtlijnen terug te vinden in VLAREM II; het is wel de bedoeling om dit in de toekomst te voorzien<sup>[III.15]</sup>.

- **Ontwerp Koninklijk Besluit 1991 en Ontwerptekst verkeersgeluid 1997**

In het verleden werd in Vlaanderen al tweemaal geprobeerd om een wetgeving vast te leggen m.b.t. geluidshinder afkomstig van het verkeer. Het gaat hierbij over een Koninklijk Besluit (K.B) van 1991 en een voorstel van een ambtelijke werkgroep uit 1997. Deze ontwerpteksten werden nooit goedgekeurd, maar worden wel vaak gebruikt als referentiekader in milieueffectenrapporten. Ook in de praktijk, bijvoorbeeld bij de beslissing om al dan niet een geluidsscherm te plaatsen, houdt men rekening met de richtlijnen die in deze teksten zijn vastgelegd.

De ontwerpteksten bepalen twee verschillende soorten drempelwaarden, namelijk richtwaarden en maximale waarden. De eerstgenoemde zijn “grenswaarden die aan de bevolking een voldoeninggevend akoestisch leefmilieu moeten bieden”. Waar het bestaande omgevingsgeluid onder de richtwaarden ligt, moet men er bij nieuwe ontwikkelingen voor zorgen dat dit zo blijft. Maximale waarden daarentegen zijn “grenswaarden die aan de bevolking bescherming moeten bieden tegen overmatige hinder”. Wanneer het bestaande omgevingsgeluid boven de maximale waarden ligt, moet men dit via een saneringsprogramma tot onder deze waarden brengen.

In volgende tabel vergelijken we de richtwaarden, respectievelijk maximale waarden zoals ze werden vastgelegd in beide ontwerpteksten. De waarden uit de tekst van 1997 blijken minder streng dan deze vastgelegd in 1991, in het bijzonder de richtwaarden en in het bijzonder tijdens de nachtperiode<sup>[III.20]</sup>.

Tabel 3. 7 Richtwaarden en maximale waarden vastgelegd in Koninklijk Besluit 1991 (KB 91) en Ontwerptekst 1997 (VK 97) (Interview Vanhooreweder)

	Richtwaarden			Maximale waarden		
	Dag	Avond	nacht	dag	avond	nacht
KB 91	55-65	50-60	45-55	65-75	60-70	55-65
VK 97	60-64	60-64	52-58	67-71	67-71	59-65

Globaal bekomen we een richtwaarde voor overdag tussen de 55 en 65 dB, waarbij de maximale waarden 7 tot 10 dB hoger liggen en nachtwwaarden 6 tot 10 dB strenger zijn<sup>[III.20]</sup>.

### 3.5.3.2 Financiering van geluidsschermen

- **Mobiliteitsconvenant (1996)**

In 1996 kwam in België het mobiliteitsconvenant tot stand<sup>9</sup>. Dit document zou op vele plaatsen moeten leiden tot een integrale aanpak van mobiliteitsproblemen. Eén module hiervan, namelijk module 5 “Schermen en/of gronddammen langs een gewestweg, die het wegverkeerslawaai verminderen”, heeft betrekking op geluidsschermen<sup>10</sup>. Het essentiële onderwerp van deze module betreft de verbintenissen van het gewest en de lokale overheid of met andere woorden de financiering van het geluidsscherm.

Het gewest zorgt voor de bouw en het onderhoud van de lawaaiwerende schermen. Als het geluidsniveau  $LA_{eq,day}$  80dB(A) bereikt of overschrijdt, betaalt het gewest 100%. Indien een geluidsniveau wordt vastgesteld tussen de 65 en 80dB(A) betalen de lokale overheid en het gewest elk een specifiek berekend deel van de bouwkosten<sup>[III.12]</sup>. Wanneer we geen rekening houden met beperkingen omtrent ziekenhuizen en plaatsen waar meer dan de helft van de woningen zich bevinden in een strook van 250 m vanaf de rand van de rijbaan, kan de bijdrage van de lokale overheid worden weergegeven als volgt<sup>[III.21]</sup>:

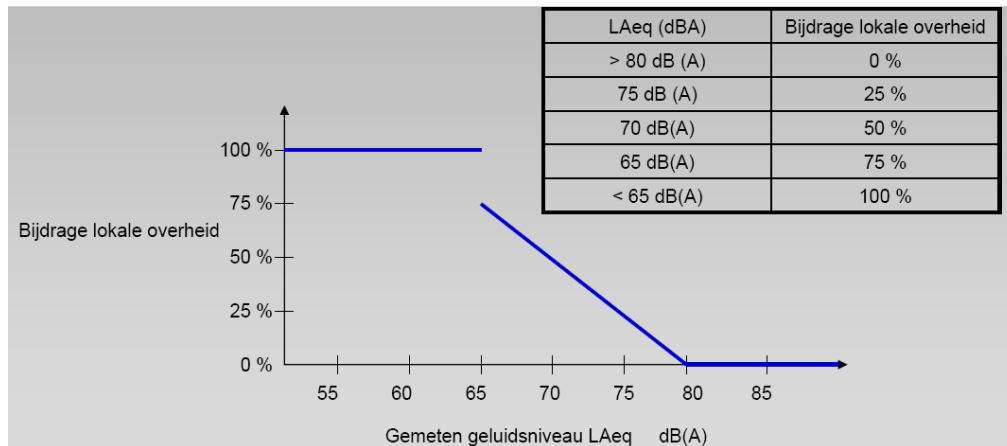
<sup>9</sup> Voor verdere informatie omtrent het mobiliteitsconvenant verwijzen we naar Bijlage 2: Mobiliteitsconvenant (1996)

<sup>10</sup> De volledige module 5 van het mobiliteitsconvenant is opgenomen in Bijlage 3: Mobiliteitsconvenant module 5:

schermen en/of gronddammen langs een gewestweg, die het wegverkeerslawaai verminderen



**Figuur 3. 23 Financiële tegemoetkoming van de lokale overheid in functie van het gemeten geluidsniveau (VANHOOREWEDER, 2006)**



Opmerking: De bepalingen in de moduleteksten zijn gebaseerd op geluidsmetingen ter plaatse, dus niet op geluidsniveaus zoals weergegeven in de algemene geluidskaarten van Vlaanderen.

### **3.5.3.3 Technische eisen gesteld aan geluidsschermen**

- **CE markering voor geluidsschermen**

Geluidsschermen die geplaatst worden in Vlaanderen moeten ook voldoen aan bepaalde technische Europese specificaties. Deze worden bepaald in de CE – markering van verkeersgeluidsschermen volgens NBN EN 14388<sup>11</sup>. Deze regelgeving is bedoeld voor de producenten van geluidsschermen.

De CE – markering is eigenlijk een soort productlabel (conformiteitsteken) dat aangeeft dat het product in kwestie getest is volgens Europese specificaties. Deze markering is verplicht voor alle producten die op de Europese markt (al de lidstaten van de Europese Unie plus Noorwegen, IJsland en Liechtenstein) komen en binnen het toepassingsgebied van de norm vallen.

Met betrekking tot geluidsschermen werd in juni 2005 de norm NBN EN 14388 goedgekeurd door het Belgische Instituut voor Normalisatie (BIN). Het referentienummer en de titel zijn ondertussen verschenen in het Publicatieblad van de EU, de norm wordt dus als geharmoniseerde norm beschouwd. CE– markering volgens EBN EN 14388 werd mogelijk vanaf 1 mei 2006 en verplicht vanaf 1 mei 2007.

<sup>11</sup> Verder moeten geluidsschermen ook voldoen aan de algemene voorwaarden die gesteld worden aan geluidbeperkende constructies langs wegen, die worden vastgelegd in NBN EN 1793

De norm beschrijft onder andere de manier waarop prestaties (zowel akoestische als mechanische) van geluidsschermen bepaald en beschreven moeten worden. Bepaalde prestaties moeten tevens door een genotificeerd beproevingslaboratorium worden gevalideerd (conformiteitonderzoek). De norm voorziet verder een productiecontrolesysteem. Immers, er wordt van de producent verwacht dat hij de initieel bepaalde prestaties doorlopend kan garanderen. Ook zou de producent aanwijzingen met betrekking tot de installatie en onderhoud van zijn product moeten voorzien. Tenslotte vraagt de norm dat de producent een technisch dossier samenstelt, waarin het ontwerp, de productie en de werking van het product wordt toegelicht <sup>[III.17,18,19]</sup><sup>12</sup>.

#### ***3.5.3.4 Regelgeving betreffende fotovoltaïsche geluidsschermen***

Fotovoltaïsche geluidsschermen moeten voldoen aan de regelgeving omtrent conventionele geluidsschermen, maar er bestaat geen aparte regelgeving voor in België. Wel hebben specialisten van het Agentschap Wegen en Verkeer zoals Peter Stulens, Stephane Peeters en Barbara Vanhooreweder bevestigd dat een privaat – publieke samenwerking met betrekking tot dergelijke projecten<sup>13</sup> niet verboden, of met andere woorden toegelaten is <sup>[III.31,III.32,III.33]</sup>. Het is dus perfect mogelijk dat de overheid een geluidsscherm plaatst, en dat vervolgens een bedrijf de investering doet in het PV – gedeelte. Dit is, zoals reeds besproken, de normale gang van zaken in andere Europese landen zoals bijvoorbeeld Duitsland en Nederland <sup>[III.29,III.30]</sup>.

---

<sup>12</sup> Voor verdere informatie wordt verwezen naar “EBN EN 14388”, te koop (voor 30 euro) onder andere via volgende link: [http://cat.bin.be/nederlands/abstract\\_nl.asp?nbnumber=NBN+EN+14388%3A2005&language=FR%2CEN&class=B+63&year=2005&bef=+++30%2E00&ics=93%2E080%2E30&code=R6X&mb=23%2F12%2F2005&en\\_normnr=EN+14388%3A2005&title\\_nl=Verkeerslawaaibeperkende+constructies+%2D+Specificaties+%28%2B+AC%3A2008%29+%3D+EN+14388%3A2005&pg=13&id=269515&publ\\_date=2005%2D10%2D06](http://cat.bin.be/nederlands/abstract_nl.asp?nbnumber=NBN+EN+14388%3A2005&language=FR%2CEN&class=B+63&year=2005&bef=+++30%2E00&ics=93%2E080%2E30&code=R6X&mb=23%2F12%2F2005&en_normnr=EN+14388%3A2005&title_nl=Verkeerslawaaibeperkende+constructies+%2D+Specificaties+%28%2B+AC%3A2008%29+%3D+EN+14388%3A2005&pg=13&id=269515&publ_date=2005%2D10%2D06)

<sup>13</sup> publiek – private samenwerkingsprojecten (PPS): projecten die door publiek- en privaatrechtelijke partijen, gezamenlijk en in een samenwerkingsverband worden gerealiseerd om een meerwaarde voor die partijen tot stand te brengen <sup>[III.36]</sup>

# Hoofdstuk 4 Case study: Fotovoltaïsche geluidsbarrière in België

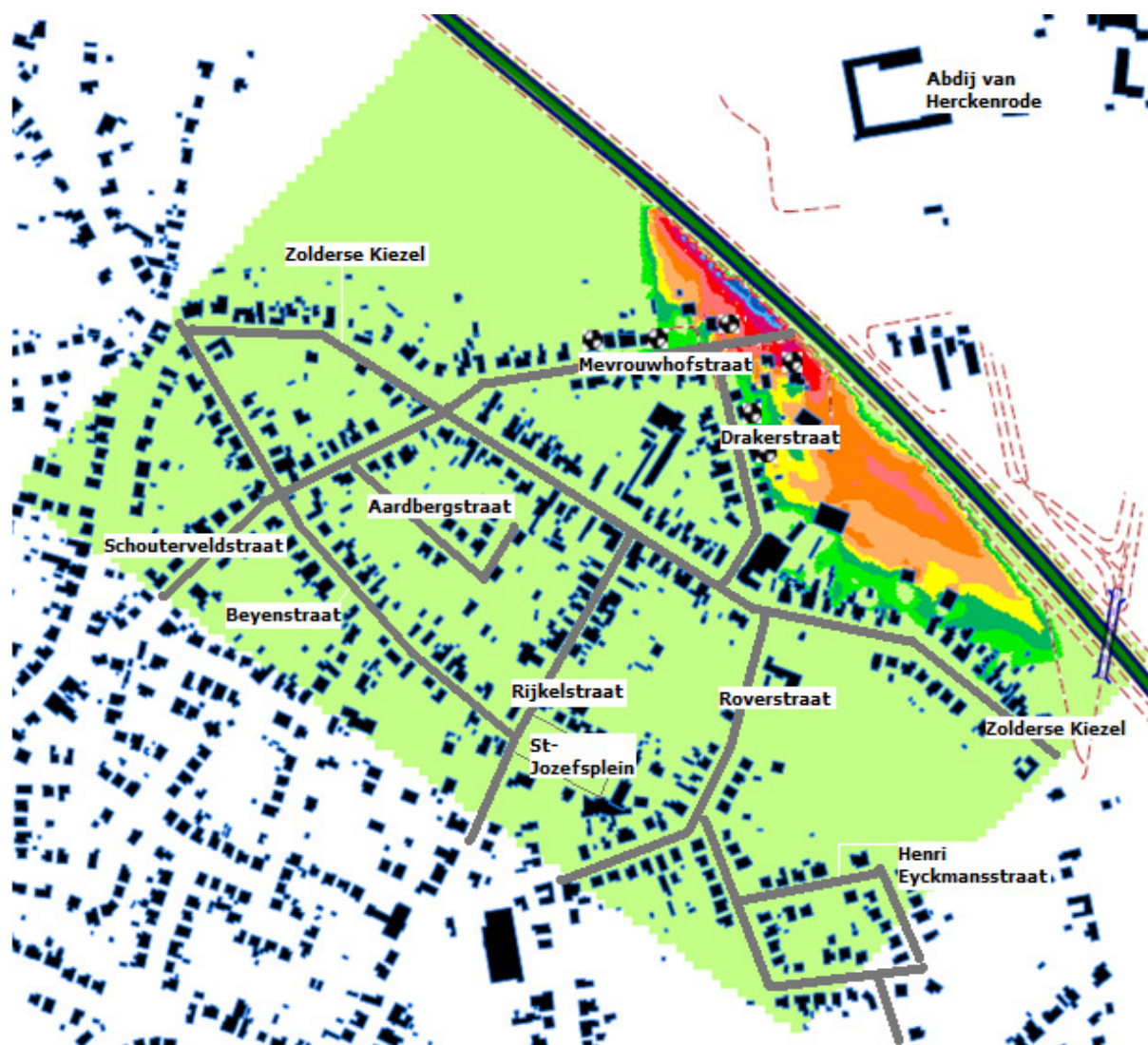
Dit hoofdstuk heeft tot doel inzicht te krijgen in de kosten en baten die gepaard zouden gaan met een eerste fotovoltaïsch geluidsscherm in België. Hiertoe zal een kosten – batenanalyse (Cost Benefit Analysis, CBA) worden opgesteld van een specifieke gevalstudie, namelijk een fotovoltaïsch geluidsscherm langs de E313 ter hoogte van de woonwijk Tuilt (Hasselt). Deze CBA zal toelaten om een beoordeling te doen over het PV – geluidsscherm op basis van criteria zoals de terugverdientijd (TVT), net present value (NPV) en de interne rendementsvoet (IRR).

Vooreerst specificeren we de locatie en de technische specificaties van het scherm. Vervolgens zal dieper worden ingegaan op alle gegevens nodig om de kosten - batenanalyse op te stellen. Een volgende stap bestaat erin de gegevens van de CBA te verwerken tot nuttige criteria om een beoordeling te doen over de winstgevendheid van het scherm. Hierbij zal tevens een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd.

## 4.1 Locatie

In deze eindverhandeling wordt als locatie voor een eventuele eerste fotovoltaïsche geluidsbarrière in België de autosnelweg E313 gekozen, ter hoogte van Tuilt (Hasselt). In 2012 zullen hier geluidsschermen geplaatst worden, plannen hiervoor zijn reeds opgesteld. We merken hierbij op dat de plaatsing van de geluidsschermen op zich vast staat, echter wat betreft het fotovoltaïsche gedeelte zijn nog geen afspraken gemaakt. In deze thesis zal een CBA worden opgesteld van het geluidsscherm in de veronderstelling dat het fotovoltaïsche gedeelte mee geplaatst wordt. De E313 ter hoogte van Tuilt, en dus ook het bijhorende scherm, is zuid – oostelijk georiënteerd met een afwijking van 45° ten opzichte van het zuiden. De geluidsbarrière zal geplaatst worden aan de kant van de woonwijk van Tuilt, aan de overzijde van de abdij van Herkenrode, aangezien daar de geluidsoverlast beperkt dient te worden. Het scherm zal zich bevinden langsheen de volledig groene zone in figuur 4.1. Deze figuur dient enkel om de locatie te visualiseren, voor de juiste afmetingen van het scherm verwijzen we naar Bijlage 4: Positie en afmetingen van de geluidsschermen langs de E313<sup>[IV.1]</sup>.

Figuur 4. 1 Locatie geluidsscherm, langs de E313 ter hoogte van Tuilt (Hasselt) (VANHOOREWEDER)



## 4.2 Technische aspecten van het geluidsscherm

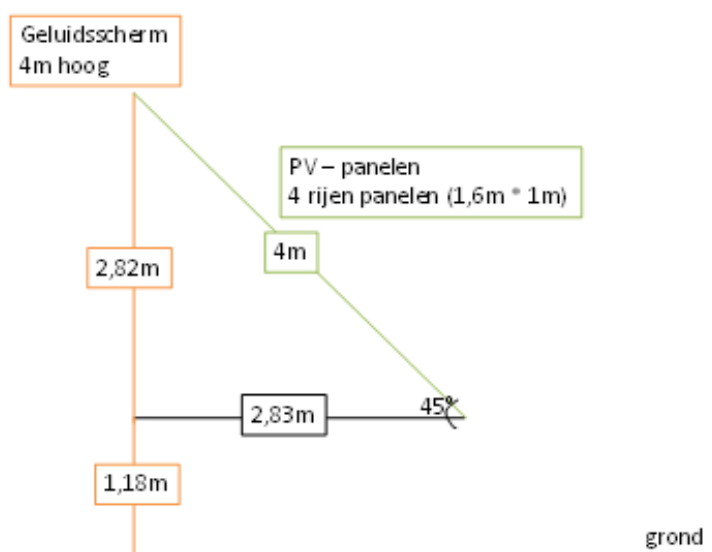
In 2001 heeft het Agentschap Wegen en Verkeer de opdracht gekregen van toenmalig minister voor energie Steve Stevaert om een werkgroep op te starten met als doel het onderzoeken van een proefproject inzake de plaatsing van een PVNB in Vlaanderen. Uit de eindrapporten zijn enkele randvoorwaarden gebleken waaraan een proefproject zou moeten voldoen. Verder kunnen uit de literatuur omtrent PVNB's enkele elementen afgeleid worden waar zeker rekening mee gehouden dient te worden. Tenslotte heeft PV – specialist dr. Tom Martens ook gewezen op enkele aandachtspunten. Bij het proefproject langs de E313 zal rekening gehouden worden met al deze bemerkingen.

Vooreerst werd in de studie van 2001<sup>[IV.5,IV.6]</sup> opgemerkt dat het bij plaatsing van een fotovoltaïsch geluidsscherm steeds moet gaan om een drukbereden weg met bewoning in de onmiddellijke

omgeving om de plaatsing van geluidswering te rechtvaardigen. De beslissing om geluidsschermen te plaatsen langs de E313 ter hoogte van Tuilt (Hasselt) is reeds genomen en is gebeurd door vakspecialisten. Zij hebben geluidsmetingen gedaan ter plaatse, waaruit gebleken is dat een scherm op deze locatie gerechtvaardigd is om de geluidshinder te beperken.

Een volgend aandachtspunt betreft de oriëntatie van de schermen, die tevens een invloed zal hebben op de inclinatiehoek waaronder de schermen best geplaatst worden. In het eindrapport van 2001 werd gesteld dat de betreffende snelweg oost – westelijk georiënteerd moet zijn, met een maximale afwijking van  $45^\circ$  ten opzichte van het zuiden zodat de zonnecellen optimaal naar het zuiden georiënteerd kunnen worden<sup>[IV.5,IV.6]</sup>. Hoewel in de tussentijd ook al de bifaciale technologie voorhanden is die dit probleem kan oplossen, voldoet de zuid – oostelijk georiënteerde E313 toch aan deze voorwaarde. Om gericht te zijn naar het zuiden zullen de zonnepanelen richting de woonwijk Tuilt (Hasselt), weg van de autosnelweg gemonteerd worden. Wat betreft de hellingshoek kan gesteld worden dat in deze gevalstudie, waarin de panelen zuidoostelijk georiënteerd zouden worden met een afwijking van  $45^\circ$  ten opzichte van het zuiden, de maximale efficiëntie die bereikt kan worden 96% bedraagt. Dit zou behaald kunnen worden bij montering van de panelen onder een hellingshoek tussen de  $20^\circ$  en de  $35^\circ$ . Echter, in deze gevalstudie wordt een voorstel gedaan om de schermen te plaatsen onder een hellingshoek van  $45^\circ$ , daar dan de vereiste ruimte van de panelen naast het scherm beperkt blijft tot  $2,83\text{m}^{14}$  (zie figuur 4.2). De efficiëntie van de panelen bedraagt dan 94%, wat in België overeenkomt met  $799\text{kWh/kWp}^{[IV.22]}$ .

Figuur 4. 2 Voorstel tot ontwerp van het fotovoltaïsch geluidsscherm langs de E313, Tuilt (Hasselt)



<sup>14</sup> Onder een hellingshoek van  $35^\circ$  zou deze afstand  $3,27\text{m}$  bedragen

Verder werd in de studie van 2001 ook opgemerkt dat het PV – gedeelte minstens 1m boven de grond moet blijven omwille van mogelijke bevuiling, beschadiging en onkruid<sup>[IV.5,IV.6]</sup>. In het voorstel tot ontwerp van de PVNB zal het fotovoltaïsch gedeelte minimaal 1,18m van de grond verwijderd blijven (zie figuur 4.2).

Tenslotte wordt opgemerkt dat het voorstel tot ontwerp van het fotovoltaïsch geluidsscherm zoals weergegeven in figuur 4.2 werd opgemaakt in samenspraak met PV – specialist Tom Martens. Echter, indien wenselijk kan dit voorstel steeds aangepast worden.

### **4.3 Kosten – batenanalyse (CBA)**

In de kosten - batenanalyse zal vooreerst getracht worden alle kosten in rekening te brengen. Hierbij denken we aan de kosten van het geluidsscherm, van het PV – paneel, onderhoudskosten,... Wat betreft de baten zal in eerste instantie rekening gehouden worden met economische opbrengsten, zoals een eventuele ecologiepremie of inkomsten die voortkomen uit groene stroomcertificaten of uit de vergoeding die je krijgt voor stroom die wordt geleverd aan het net. Bovendien zullen ook de ecologische baten van het scherm, zowel de bescherming tegen geluidsoverlast als het vermijden van CO<sub>2</sub> – uitstoot, opgenomen worden. Hiertoe is het noodzakelijk dat deze ecologische baten op een economische manier worden uitgedrukt, of met andere woorden dat de ecologische baten worden gemonetariseerd. Om de analyse tot een goed einde te brengen, werd contact opgenomen met vakspecialisten en indien beschikbaar werd ook de relevante literatuur doorgenomen. Een overzicht van de economische analyse is terug te vinden in Bijlage 11: CBA case study E313, Tuilt (Hasselt). Om rekening te houden met de onzekerheid betreffende de getalwaarde van sommige determinanten, zal tevens een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van Monte Carlo simulaties, met behulp van Crystal Ball . Tenslotte zullen ter vergelijking ook de resultaten van de studie gemaakt in 2001 door het Agentschap Wegen en Verkeer worden aangehaald.

#### **4.3.1 Gegevens PV – gedeelte**

De investering in het PV – gedeelte zou kunnen gebeuren door een energiebedrijf, zoals bijvoorbeeld Infrac, dat de opgewekte groene stroom aan het net zou leveren en vervolgens verder zou doorverkopen aan haar eigen klanten. Dit is tevens de normale gang van zaken in Nederland en Duitsland. Een andere optie zou zijn dat een bedrijf in de buurt, zoals bijvoorbeeld de abdij van Herkenrode, zou investeren in de PV – panelen. Tenslotte zou ook de overheid een mogelijke kandidaat kunnen zijn.

Wie de investering op zich neemt, heeft een impact op de CBA. Zo mag bijvoorbeeld de overheid niet zichzelf subsidiëren en zou de abdij van Herkenrode veel meer energie verbruiken dan bijvoorbeeld

Infrac, waardoor een hogere ecologiepremie verkregen zou kunnen worden. In deze analyse wordt uitgegaan van het meest waarschijnlijk scenario, namelijk een energiebedrijf als investeerder.

#### **4.3.1.1 Kosten PV – gedeelte**

- **Investeringskost PV – panelen**

In de gevalstudie zal gewerkt worden met 4 rijen standaardpanelen van 1m hoog en 1,6m breed. In totaal zullen 1867 panelen worden geplaatst, met een totaal vermogen van 429kWp. Volgens Tom Martens zal de totaalprijs van de installatie van PV - panelen in 2012 €2,8 per Wp bedragen<sup>[IV.22]</sup>. De totale investering van de PV – panelen in deze case study wordt dan ook geraamd op €1 202 670. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de kostprijs van de panelen per Wp gepaard gaat met enige onzekerheid, ter volledigheid zal met behulp van een Monte Carlo simulatie de impact van deze kostprijs worden nagegaan (zie verder 4.3.4 Monte – Carlo simulatie).

In 2001 lag de kostprijs van de opwekking van PV – energie nog veel hoger, namelijk bij €7,5 per Wp<sup>[IV.6]</sup>. Dit komt ongeveer overeen met het cijfer gevonden door Nordmann en Clavadetscher, €7 per Wp in 2000<sup>[IV.7]</sup>. Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze prijs doorheen de jaren reeds drastisch gedaald is; in 1989 bedroeg deze prijs €16 per Wp<sup>[IV.7]</sup>. Deze cijfers wijzen erop dat we naar beneden bewegen langsheen de PV – leercurve.

- **Exploitatiekosten**

Verder dienen ook de exploitatiekosten in rekening gebracht te worden. Volgens de heer Martens is er vooreerst de kost van het verzekeren van de panelen, die jaarlijks €5000 zou bedragen. Verder dient ook elk jaar een abonnementskost van €800 betaald te worden om energie aan het net te mogen leveren. Tenslotte is er ook nog de onderhoudskost, die volgens de heer Martens geraamd kan worden op €0,03 per Wp<sup>[IV.22]</sup>. De totale jaarlijkse exploitatiekost van de panelen zou dan €18 686 bedragen.

#### **4.3.1.2 Economische baten PV – gedeelte**

- **Groene stroomcertificaten**

Plaatsing van PV – schermen in België gaat gepaard met een heel aantal economische voordelen. Het grootste deel van de inkomsten zal gehaald worden uit groene stroomcertificaten (GSC), die toegekend worden door de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteit- en Gasmarkt (VREG) voor de productie van groene stroom. Wanneer groene stroom geproduceerd wordt, kan altijd aanspraak gemaakt worden op deze GSC, onafhankelijk van het feit of de stroom zelf verbruikt wordt of geleverd wordt aan het net<sup>[IV.11]</sup>. Momenteel bedraagt de waarde van een GSC voor stroom

opgewekt met PV – panelen 350€/kWp, maar deze waarde gaat de komende jaren dalen. De correcte cijfers zijn terug te vinden in tabel 4.1<sup>[IV.10]</sup>. Gezien de schermen ter hoogte van Tuilt (Hasselt) geplaatst zullen worden in 2012, zal in deze gevalstudie gewerkt worden met 310€/kWp gedurende 20 jaar.

Tabel 4. 1 Vergoeding groene stroomcertificaten ([www.zonnepanelenbelgie.be](http://www.zonnepanelenbelgie.be))

2010	350€/kWp gedurende 20 jaar
2011	330€/kWp gedurende 20 jaar
2012	310€/kWp gedurende 20 jaar
2013	290€/kWp gedurende 15 jaar
2014	250€/kWp gedurende 15 jaar
2015	210€/kWp gedurende 15 jaar
2016	170€/kWp gedurende 15 jaar
2017	130€/kWp gedurende 15 jaar
2018	90€/kWp gedurende 15 jaar

Het GSC – systeem is pas van start gegaan op 1 januari 2002. Op het moment van de studie in 2001 bestond er zeer grote onzekerheid over het al dan niet verkrijgen van een vaste waarde voor GSC.

- **Vergoeding voor stroom geleverd aan het net**

Verder krijg je een vergoeding voor de opgewekte groene stroom die aan het net geleverd wordt. Om een antwoord te krijgen op de vraag hoeveel de vergoeding zou bedragen voor de stroom die met behulp van de PVNB in Tuilt (Hasselt) aan het net geleverd zou kunnen worden, heb ik contact opgenomen met de heer Eddy Poncelet, contactpersoon bij energieproducent Luminus. In tegenstelling tot de GSC, is de vergoeding voor stroom geleverd aan het net geen vast gegarandeerd bedrag. De vergoeding die gegeven wordt is eigenlijk telkens opnieuw een maatcontract, afhankelijk van de grootte van de installatie (moet minimaal 100 kWp bedragen) en de marktsituatie (die onder andere sterk beïnvloed wordt door de schommelende olieprijs). De heer Poncelet heeft mij de gegevens doorgegeven van een contract dat werd afgesloten op 11 februari 2010, waarin de vergoedingen €25/MWh - offpiek en €50/MWh – piek bedroegen. De off – piek vergoeding betreft stroom die geleverd wordt aan het net gedurende het weekend en van maandag tot vrijdag tussen 22u 's avonds en 7u 's morgens. De piekvergoeding is geldig wanneer de stroom tussen 7u 's morgens en 22u 's avonds doorheen de week aan het net geleverd wordt<sup>[IV.12]</sup>. In de gevalstudie zal gewerkt worden met een gewogen gemiddelde prijs van €43/MWh, waarbij ervan wordt uitgegaan



dat 5 van de 7 dagen de piekvergoeding en 2 van de 7 dagen de off – piekvergoeding wordt bekomen.

- **Subsidiëring: ecologiepremie en verhoogde investeringsaftrek**

Wat betreft de subsidies wordt voor grote installaties geen onderscheid gemaakt in types. In het geval van PV - energie zijn er voor overheden geen subsidies voorzien; de Vlaamse Gemeenschap mag zichzelf niet subsidiëren. Indien het fotovoltaïsch gedeelte van het geluidsscherm echter door een bedrijf gefinancierd zou worden (bijvoorbeeld onder de vorm van een concessie, zie voetnoot 3), kan wel aanspraak gemaakt worden op subsidiëring. Hieronder vallen de ecologiepremie en de federale verhoogde investeringsaftrek. De ecologiepremie bedraagt 40% voor kleine en middelgrote ondernemingen en 20% voor grote ondernemingen op 10% van de investeringskost. Finaal geeft dit dus een subsidie van 4 % voor kleine en middelgrote en 2 % voor grote ondernemingen en kan oplopen tot maximum 1.750.000 euro per aanvraag. Investeringskosten ten behoeve van elektriciteit opgewekt door zonne-energie komen in aanmerking in verhouding tot de door de onderneming voor eigen gebruik aangekochte elektriciteit. Er wordt bijgevolg enkel steun verleend voor het opwekkingsvermogen van de investering dat overeenstemt met de voor eigen gebruik aangekochte elektriciteit<sup>[IV.13]</sup>. De subsidie wordt toegekend via een oproep met wedstrijdformule. Dit houdt in dat er jaarlijks drie oproepen worden georganiseerd waarop ondernemingen kunnen inschrijven met hun project. Deze projecten worden objectief beoordeeld en gerangschikt. Vervolgens wordt het beschikbare subsidiebedrag verdeeld over de gunstig gerangschikte investeringsprojecten<sup>[IV.13]</sup>. Met andere woorden, je kan vooraf nooit met zekerheid zeggen of en met welk bedrag het investeringsproject gesubsidieerd zal worden. Om hierover zekerheid te verkrijgen heb ik telefonisch contact opgenomen met het Vlaams Energie Agentschap (VEA). Zij bevestigen dat het momenteel realistisch is om te werken met een ecologiepremie van 4% op het bruto – investeringsbedrag voor kleine ondernemingen en 2% voor grote ondernemingen. Wel is het zo dat deze getallen hoogstwaarschijnlijk, onder voorbehoud van goedkeuring door de minister, zullen halveren vanaf mei 2010. Het feit dat de geluidsschermen pas in 2012 geplaatst zullen worden vormt geen enkel probleem, daar steeds de cijfers op het moment van aanvraag gelden; de realisatie van het project mag vanaf dan 5 jaar op zich laten wachten. Er dient verder rekening gehouden te worden met het feit dat de investering in de PV – panelen hoogstwaarschijnlijk gedaan zal worden door een energiebedrijf, dat waarschijnlijk slechts een zeer klein deel van de opgewekte elektriciteit zelf kan verbruiken. Dit alles in overweging genomen, zal in de analyse gewerkt worden met een verwaarloosbare ecologiepremie van 0,5%. Onzekerheid over dit cijfer zal in rekening gebracht

worden in de Monte Carlo simulatie, waarin de waarde van de ecologiepremie tussen 0% en 0,5% zal variëren.

Tenslotte is er ook nog de verhoogde investeringsaftrek waar aanspraak op gemaakt kan worden. Dit is een fiscaal voordeel waarbij de onderneming een bepaald percentage van de aanschaf- of beleggingswaarde van de investeringen uitgevoerd tijdens het belastbaar tijdperk mag aftrekken van de belastbare winst. De waarde van de verhoogde investeringsaftrek wordt telkens gebaseerd op de index van het voorbije jaar. Momenteel bedraagt deze waarde 13,5%; vorig jaar was dit nog 15,5%<sup>[IV.23]</sup>. Om hier zekerheid over te verkrijgen heb ik ook weer gebeld naar het Vlaams Energie Agentschap, zij hebben bevestigd dat het realistisch is om te werken met een percentage voor de verhoogde investeringsaftrek van 13,5% in het jaar 2012.

#### **4.3.1.3 Ecologische baten PV – gedeelte**

- **Vermeden CO<sub>2</sub> – uitstoot**

Vlaanderen stoot gemiddeld 385 g CO<sub>2</sub> uit per geproduceerde kWh elektriciteit<sup>[IV.24]</sup>. Bij elke kWh die wordt opgewekt met behulp van hernieuwbare energiebronnen, zoals bijvoorbeeld PV, kan deze uitstoot vermeden worden. Daar het opwekken van groene stroom in de eerste plaats gebeurt ten voordele van het milieu, dient deze baat zeker mee in rekening gebracht te worden. Hiertoe is het noodzakelijk dat deze ecologische baat uitgedrukt kan worden in geldelijke termen, wat in deze analyse zal gebeuren aan de hand van de prijs van CO<sub>2</sub> – emissierechten. In 2009 diende uitgegaan te worden van 20 euro per emissierecht. Echter, vanaf 2010 dient de actuele prijs van een EU Emission Allowance (EUA) te worden gehanteerd. De “spot price” eind april 2010 bedraagt €14,42, de “future price” voor december 2012 ligt momenteel (21/04/2010) op €15,75; dit wil zeggen dat wanneer men nu, op 21 april 2010, een future contract zou aankopen, men de CO<sub>2</sub> – emissierechten in 2012 tegen €15,75 per ton CO<sub>2</sub> zou kunnen verkopen. In de analyse zal dan ook met dit laatste cijfer gewerkt worden<sup>[IV.25]</sup>. Ervan uitgaande dat de PVNB jaarlijks 343 190kWh aan het net zal leveren, waardoor jaarlijks een CO<sub>2</sub> – uitstoot van 132 ton vermeden kan worden, levert dit elk jaar een baat op van €2081.

#### **4.3.2 Gegevens geluidsscherm**

De investering in het geluidsscherm zal gebeuren door het gewest en eventueel de lokale overheid. De regels omtrent financiering van geluidsschermen zijn reeds eerder besproken (zie 3.5.3.2 Financiering van geluidsschermen).

#### **4.3.2.1 Kost geluidsscherm**

- **Investeringskost**

Vakspecialisten hebben bevestigd dat de kostprijs van een geluidsscherm in Vlaanderen goed benaderd kan worden met een vaste waarde per lopende meter. Uit interviews met 3 verschillende specialisten<sup>[IV.2,IV.3,IV.4]</sup> is gebleken dat deze kost momenteel €1200 per lopende meter bedraagt. De afmetingen van het scherm zijn als volgt: het scherm zal een totale lengte hebben van 747m, waarvan een deel van 111m lang dat 4m hoog is, 190m dat 5m hoog is en 446m dat weer 4m hoog is (zie Bijlage 4: Positie en afmetingen van de geluidsschermen langs de E313). De totale kost van het geluidsscherm wordt geraamd op €896 400.

Ter vergelijking, in het eindrapport van 2001 werd gewerkt met een kost per lopende meter van €750.

#### **4.3.2.2 Ecologische baat geluidsscherm**

- **Vermindering van geluidsoverlast**

In het dagelijkse leven ondervindt men vaak hinder van excessief geluid. In het jaar 2000 werd meer dan 44% van de bevolking van de EU25 (meer dan 210 miljoen mensen) op regelmatige basis blootgesteld aan een geluidsniveau hoger dan 55dB(A), een niveau dat door de World Health Organization (WHO) erkend is als potentieel schadelijk voor de gezondheid<sup>[IV.14]</sup>. Geluid afkomstig van het wegverkeer is de grootste oorzaak van deze geluidsoverlast, gevolgd door geluid van vliegtuigen en spoorwegen.

Verschiedende studies hebben reeds bewezen dat verkeersgeluid (boven een niveau van 55dB(A)) een negatieve impact kan hebben op de gezondheid van de mens. Hierbij denken we bijvoorbeeld aan socio – psychologische problemen zoals onder meer irritatie en slaapstoornissen. Verder kan langdurige blootstelling aan verkeersgeluid ook leiden tot fysiologische problemen waaronder hartaandoeningen en problemen met de mentale gezondheid. Tenslotte behoren ook verstoring van het leerproces van kinderen en gehoorverlies tot de negatieve gezondheidsgevolgen veroorzaakt door verkeersgeluid<sup>[IV.14]</sup>.

Al deze gezondheidsproblemen brengen heel wat sociale kosten met zich mee. Zo denken we bijvoorbeeld aan kosten van medicatie, ziekenhuiskosten, minder productiviteit op het werk door een gebrek aan slaap,... In vakliteratuur probeert men deze sociale kosten in rekening te brengen door ze te “monetariseren” of uit te drukken in geldelijke termen. Zo wordt voor de EU22 bijvoorbeeld geschat dat de sociale kost van verkeersgeluid jaarlijks meer dan 38 miljard dollar

bedraagt<sup>[IV.14]</sup>. In het algemeen zijn er 2 relevante waarderingmethodes geschikt om deze sociale kost te moneteriseren, namelijk de hedonische waarderingmethode (Hedonic Pricing, HP) en de contingente waarderingmethode (Contingent Valuation, CV).

De hedonische waarderingmethode onderzoekt variaties in huizenprijzen, die te wijten zijn aan geluid afkomstig van wegverkeer. Het onderliggende idee van de HP – methode is dat de prijs van een huis functie is van eigenschappen van het huis zelf, van de omgeving waarin het huis zich bevindt en omgevingsvariabelen van het huis zoals het geluidsniveau. In de ceteris – paribus veronderstelling gaat men er dan van uit dat een verandering in geluidsniveau zal leiden tot een verandering in de prijs van het huis<sup>[IV.18]</sup>. Deze veranderingen in huizenprijzen worden geïnterpreteerd als de mate waarin men bereid is om meer te betalen (Willingness To Pay, WTP) voor een huis waarin de negatieve effecten van verkeersgeluid vermeden kunnen worden<sup>[IV.14,IV.17,IV.18]</sup>. HP – studies geven waarden weer in termen van de Noise Sensitivity Depreciation Index (NSDI) die gedefinieerd wordt als “de gemiddelde procentuele verandering in huizenprijzen of grondprijzen (property prices) per dB stijging in het geluidsniveau”<sup>[IV.17]</sup>. Een sterk punt van de HP – methode is dat deze methode gebaseerd is op werkelijke transacties die gebeuren in de huizenmarkt, waarbij de WTP voor het vermijden van geluidseffecten objectief geobserveerd kan worden<sup>[IV.17]</sup>. Een zwak punt verbonden aan deze methode, is dat de NSDI – waarde die in een studie wordt bekomen relatief gevoelig is aan beslissingen in verband met het gekozen model en aan lokale huizenmarkten. NSDI – waarden kunnen dus sterk variëren in verschillende gebieden, wat duidelijk blijkt uit verschillende studies<sup>[IV.15,IV.16,IV.17,IV.18,IV.19,IV.20,IV.21]</sup>.

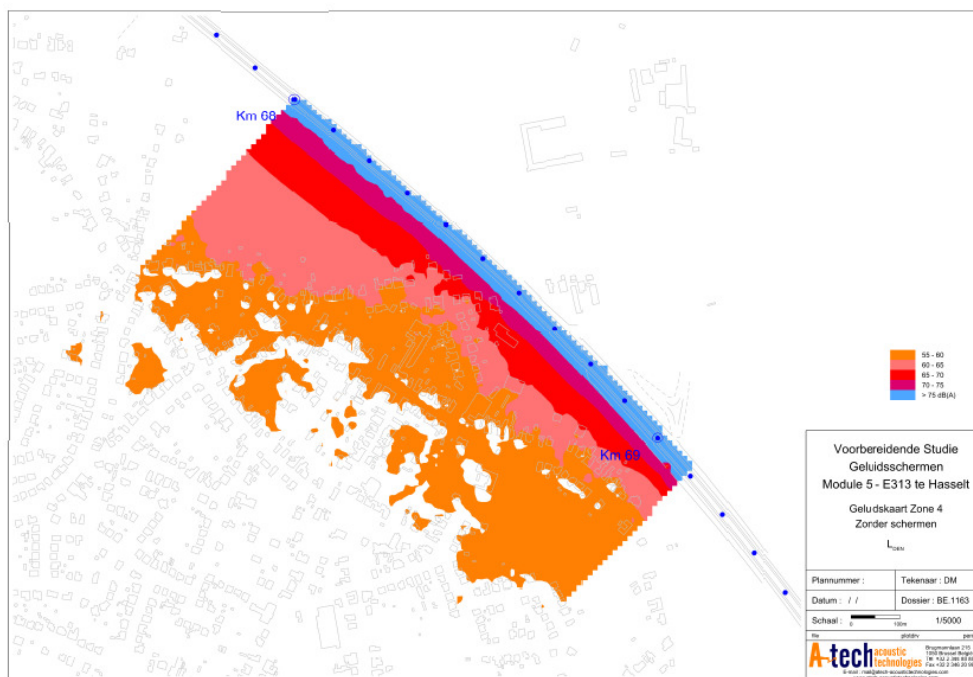
De contingente waarderingmethode daarentegen heeft een hele andere aanpak; men vraagt rechtstreeks, in de vorm van een survey, hoeveel de mensen meer zouden willen betalen voor een huis waarin men minder of geen negatieve gevolgen van het verkeersgeluid ondervindt<sup>[IV.14,IV.17,IV.18]</sup>. In het algemeen vindt men in de literatuur minder CV – dan HP – studies. Een van de redenen hiervoor is de moeilijkheidsgraad van het opstellen van een goede survey. Zo is het bijvoorbeeld moeilijk om een vermindering in geluidsniveau op correcte manier te beschrijven, of zijn er veel mensen die niet doordacht antwoorden op WTP – vragen<sup>[IV.17]</sup>. Resultaten uit CV – onderzoek worden uitgedrukt in economische waarde per jaar per huishouden (of per persoon) dat last ondervindt van wegverkeersgeluid<sup>[IV.17]</sup>. Ook bij deze methode zijn de resultaten uit verschillende studies uiteenlopend<sup>[IV.14,IV.15,IV.17,IV.18,IV.20]</sup>.

In deze eindverhandeling zal gepoogd worden om de ecologische baten van het geluidsscherm ter hoogte van Tuilt (Hasselt) ook mee in rekening te brengen in de CBA. Immers, het belangrijkste kenmerk van een kosten – baten analyse is dat alle kosten en alle baten vertaald worden naar

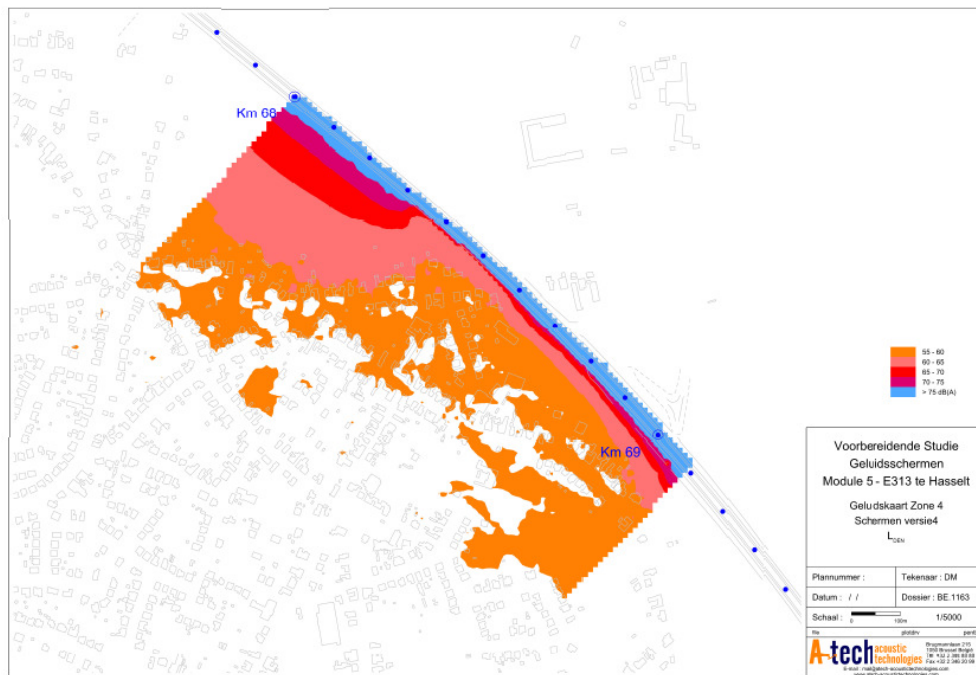
monetaire termen<sup>[IV.18]</sup>. Er zal gewerkt worden aan de hand van de HP - methode. Deze methode wordt hier in eerste instantie verkozen boven de CV – methode omwille van zijn objectiviteit. In HP – studies onderzoekt men op objectieve manier transacties die werkelijk hebben plaatsgevonden, in de CV – methode daarentegen kunnen respondenten vrij antwoorden op WTP – vragen. Verder is het ook zo dat in de literatuur meer resultaten terug te vinden zijn uit HP – studies dan uit CV – studies (dit waarschijnlijk om dezelfde reden).

Om de ecologische baten via een HP – methode in rekening te brengen, dient men vooreerst te weten bij hoeveel huizen er geluidsoverlast wordt vermeden, en om hoeveel geluidsreductie het precies gaat. Hiertoe is contact opgenomen met de heer Stulens en mevrouw Vanhooreweder van de Vlaamse overheid, die geluidskarten ter beschikking hadden van het gebied grenzend aan de E313 ter hoogte van Tuilt (Hasselt). Deze geluidskarten zijn gebaseerd op geluidsmetingen ter plaatse, zoals vereist in de regelgeving omtrent het plaatsen van geluidsschermen. De geluidskarten van  $L_{day}$  en  $L_{night}$  (voor en na de plaatsing van de schermen) zijn terug te vinden in respectievelijk Bijlage 6: Geluidskarten  $L_{day}$ , voor en na plaatsing van de geluidsschermen en Bijlage 7: Geluidskarten  $L_{night}$ , voor en na plaatsing van de geluidsschermen. In deze thesis zal gewerkt worden met  $L_{den}$  – geluidsniveaus, daar deze rekening houden met de geluidshinder die 's morgens, 's avonds en 's nachts wordt ondervonden, inclusief straffactoren. Deze karten zijn hieronder terug te vinden in figuur 4.3 en figuur 4.4.

**Figuur 4. 3 Geluidskart  $L_{den}$  voor plaatsing van de schermen**

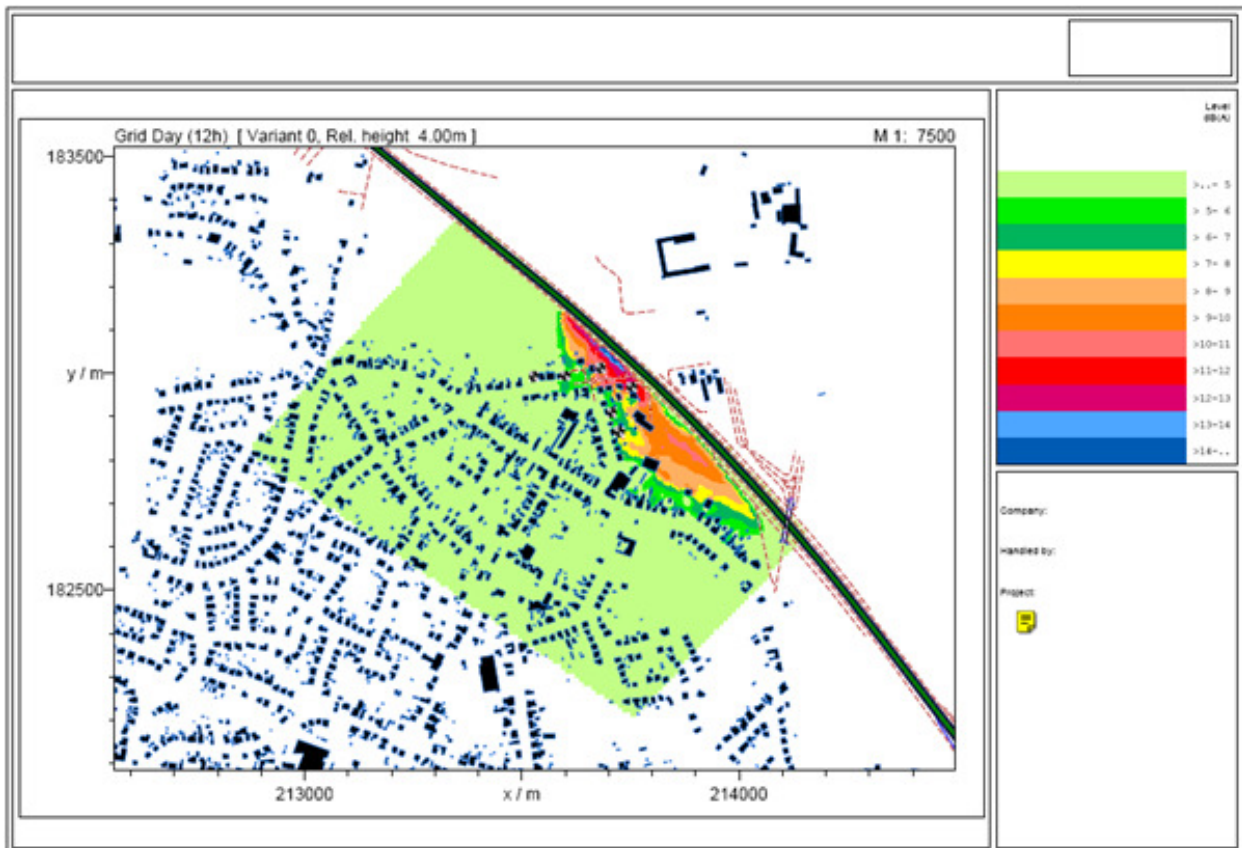


Figuur 4. 4 Geluidskaat  $L_{den}$  na plaatsing van de schermen



Met behulp van bovenstaande geluidskarten heeft men vervolgens een “verschilkaart in geluidsniveau” opgesteld (zie figuur 4.5). In deze kaart is het verschil in geluidsniveau weergegeven (uitgedrukt in dB(A)) voor en na plaatsing van de schermen. Uit de figuur blijkt duidelijk dat de vermindering van geluidsoverlast het grootst is vlakbij het scherm. Zo kan men in de legende aflezen dat in de blauwe zone bijvoorbeeld de vermindering van het geluid meer dan 14dB(A) bedraagt.

Figuur 4. 5 Verschilkaart in geluidsniveau voor en na plaatsing van de schermen



In een volgende stap dient bepaald te worden hoeveel huizen en bouwgronden er precies voorkomen in welke zone van geluidsvermindering. Om deze opdracht tot een goed einde te brengen heb ik contact opgenomen met meneer Thuwis, diensthoofd van het Kadaster Limburg. Hij heeft mij het kadasterplan bezorgd van de zone net achter het geluidsscherm (zie Bijlage 8: Kadasterplan zone geluidsscherm E313, Tuilt (Hasselt)), waaruit precies het aantal huizen en aantal bouwgronden evenals hun specifieke locatie gehaald kon worden. In totaal gaat het om 388 huizen en 73 bouwgronden. Hoeveel huizen en gronden er precies liggen in welke zone van geluidsvermindering is terug te vinden in de analyse zelf (zie Bijlage 11: CBA case study E313, Tuilt (Hasselt)).

Om de totale stijging in waarde van huizenprijzen en grondprijzen te berekenen, zal in deze analyse gewerkt worden met een gemiddelde grond- en huizenprijs. Hiertoe werd contact opgenomen met 3 verschillende notarissen in Hasselt (notaris Karl Smeets, Eric Gilissen en Marc Van der Linden). Zij schatten dat de gemiddelde huizenprijs in deze woonwijk momenteel 200 000 euro bedraagt. Er bestaat echter onzekerheid over deze waarde, daarom zal een Monte Carlo simulatie worden uitgevoerd met een minimale en maximale waarde van respectievelijk 170 000 en 250 000 euro. De

gemiddelde prijs van een bouwgrond zou liggen rond 75 000 euro, met een minimum- en maximumwaarde van 50 000 en 110 000 euro.

Voorts zal ook de reële stijging van huizen- en grondprijzen in rekening gebracht worden. Rekening houdend met de evolutie van deze prijzen van de afgelopen jaren, lijkt het realistisch om te werken met een minimale, meest waarschijnlijke en maximale waarde van 0%, 2,26% en 5% als jaarlijks reëel stijgingspercentage. Dit komt overeen met een vermenigvuldiging van de huizen- en grondprijzen met een factor 1; 1,25 en 1,6 over 10 jaar tijd.

Een laatste stap om de totale stijging in huizen- en grondprijzen te berekenen is het bepalen van de waarde die toegekend zal worden aan de Noise Sensitivity Depreciation Index (NSDI). Zoals reeds eerder vermeld, zijn deze waarden erg uiteenlopend <sup>[IV.15, IV.16, IV.17, IV.18, IV.19, IV.20, IV.21]</sup>. Op basis van vergelijking van verschillende wetenschappelijke documenten, lijkt het realistisch om deze waarde vast te leggen op 0,5%, met een minimale waarde van 0,3% en een maximale waarde van 1%.

Wanneer gewerkt wordt met bovengenoemde waarden, wordt een totale stijging in de waarden van huizen in de woonwijk aangrenzend aan het geluidsscherm vastgesteld van €1 299 000. Voor de gronden bedraagt deze waarde €86 437,5.

### 4.3.3 NCW, TVT en IRR van de investering

Beoordeling van de investering zal gebeuren op basis van 3 criteria, namelijk de netto contante waarde (NCW), de terugverdientijd (TVT) en de interne rendementsvoet (IRR). Om een zo goed mogelijk inzicht te verkrijgen, zal de investering in het geluidsscherm en in het PV – gedeelte apart worden bekeken.

Bij de bepaling van de NCW wordt de huidige waarde van de kasstromen van het project berekend door de kasstromen die het project zullen genereren te verdisconteren tegen een gekende kapitaalkost (in deze gevalstudie 4%). De NCW zou positief moeten zijn opdat een project aanvaard zou worden. De terugverdientijd is de tijd die nodig is om de oorspronkelijke investering terug te verdienen via de inkomende kasstromen van het project. De interne rendementsvoet tenslotte is de discontovoet waarbij de NCW nul is. Meestal wordt de IRR vergeleken met een vooraf bepaald vereist rendement om te beslissen of het project al dan niet aanvaard wordt<sup>[IV.26]</sup>. De resultaten van de CBA zijn terug te vinden in tabellen 4.2, 4.3 en 4.4.

Tabel 4. 2 Overzicht resultaten NCW, TVT en IRR van het PV - gedeelte

	NCW	TVT	IRR
PV – gedeelte (exclusief ecologische baat)	249.223 €	11 jaar	6,70%



<b>PV – gedeelte (inclusief ecologische baat: reductie CO<sub>2</sub> – uitstoot)</b>	275.332 €	11 jaar	6,97%
---	-----------	---------	-------

De NAW van het PV – gedeelte op zich (zonder rekening te houden met de ecologische baat van reductie in CO<sub>2</sub> – uitstoot) is positief en bedraagt €249 223. De investering zou dan na 11 jaar volledig terugverdiend zijn. De interne rendementsvoet van dit project, waar bedrijven zich grotendeels op baseren om de investering te beoordelen, bedraagt 6,7%. Hoewel deze waarde niet heel laag is, wordt verwacht dat dit toch niet hoog genoeg is om potentiële investeerders aan te trekken. Dit is een ietwat onverwachte conclusie, daar er momenteel massaal geïnvesteerd wordt in grootschalige PV – projecten. Uit het verdere verloop van deze eindverhandeling zal blijken dat de aangenomen assumpties wel realistisch, maar eerder voorzichtig zijn opgesteld. Hoogstwaarschijnlijk zal de werkelijke NCW van het project iets hoger liggen, de werkelijke TVT iets lager en de IRR ook iets hoger.

De ecologische baat die gepaard gaat met plaatsing van het PV – gedeelte, namelijk het vermijden van CO<sub>2</sub> – uitstoot, speelt wel een rol in de economische analyse maar uitgedrukt in monetaire termen is deze rol niet echt noemenswaardig. De TVT van het project blijft vast op 11 jaar, de NCW stijgt naar €275 332 (een stijging van 10,47%) en de IRR wordt ook lichtjes omhoog gekrikt, van 6,70% naar 6,92%.

**Tabel 4. 3** Overzicht resultaten NCW, TVT en IRR van het geluidsscherm (rekening houdend met de ecologische baat van geluidsvermindering)

	NCW	TVT	IRR
<b>Geluidsscherm (rekening houdend met ecologische baat: vermindering van geluidsoverlast)</b>	-137.516 €	17 jaar	2,25%

De investeringskost voor het gehele geluidsscherm bedraagt €896 400. Hoewel de NCW van het geluidsscherm bekeken over 20 jaar nog steeds negatief is (met een waarde van €-137 516), kunnen we toch stellen dat een groot deel van de economische kost (namelijk 84,6% van de investeringskost) terugverdiend wordt dankzij de ecologische baat, die tot uitdrukking komt in een stijging van huizen- en grondprijzen. Wanneer we het geluidsscherm bekijken over 25 jaar, wat geen onrealistische veronderstelling is, wordt de NCW positief, met een waarde van €8 499. Dit is een interessante conclusie naar de overheid toe, daar het plaatsen van een geluidsscherm maatschappelijk bekeken een “winstgevend” project zou kunnen zijn.

Tabel 4. 4 Overzicht resultaten NCW, TVT en IRR van de gehele PVNB (rekening houdend met de ecologische baten van geluidsvermindering en vermijden van CO<sub>2</sub> - uitstoot)

	NCW	TVT	IRR
Gehele investering in PVNB (rekening houdend met ecologische baten)	137.816 €	13 jaar	5,72%

Wanneer we de investering in zijn geheel bekijken, zien we dat de NCW €137 816 bedraagt. De PVNB zou op 13 jaar worden terugverdiend en een interne rendementsvoet hebben van 5,72%. Maatschappelijk bekeken zou het dus weer gaan om een “winstgevende” investering.

#### 4.3.4 Monte – Carlo simulatie

Gezien de onzekerheid die gepaard gaat met een aantal variabelen in de CBA, gaan we voor deze variabelen een aantal veronderstellingen inbouwen. Het lijkt realistisch om een driehoeksverdeling toe te kennen aan bepaalde variabelen, waarbij steeds een minimale, een maximale en een meest waarschijnlijke waarde zal worden toegekend. De ingebouwde assumpties van het model zijn weergegeven in tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Veronderstellingen van het model

Variabele	Uitleg over de variabele	Min waarde	Meest waarschijnlijke waarde	Max waarde
Beschikbare ruimte (m)	Het is mogelijk dat door schaduw of andere hindernissen niet het volledige geluidsscherm voorzien kan worden van PV.	650m	747m	747m
Ecologiepremie (€)	Rekening houdend met het feit dat de investering in het PV – gedeelte zal worden gedaan door een energiebedrijf, een grote onderneming die slechts een zeer kleine hoeveelheid energie zelf verbruikt, zou het kunnen dat de verkregen ecologiepremie nog kleiner zal zijn dan 0,5%.	0%	0,5%	0,5%

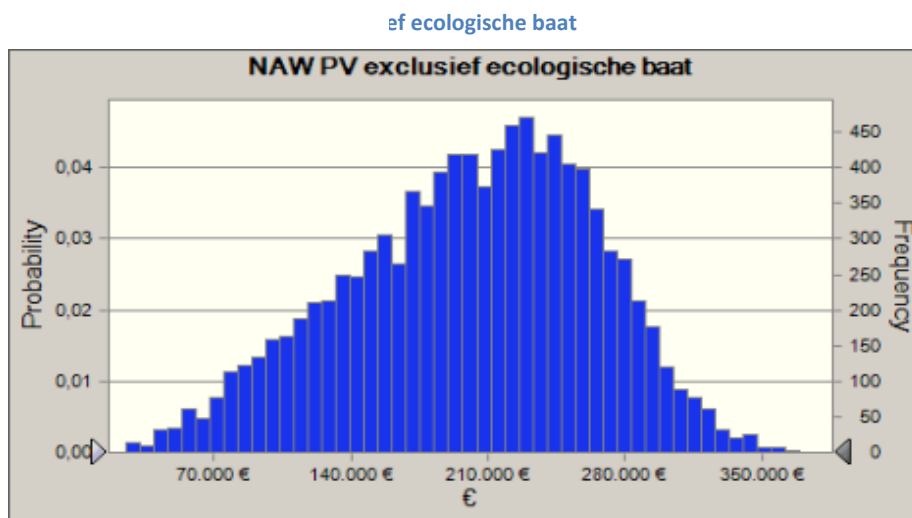
<b>Prijs PV – paneel (€/Wp)</b>	Er bestaat grote onzekerheid over de kostprijs die gepaard gaat met het opwekken van PV – energie. Volgens PV – specialist Tom Martens lijken ingebouwde veronderstellingen van 2,6, 2,8 en 3,4€/Wp realistisch.	2,6€/Wp	2,8€/Wp	3,4€/Wp
<b>Prijs PV – levering net (€/kWh)</b>	De vergoeding die je krijgt voor de energie geleverd aan het net is geen vaste vergoeding, maar wordt steeds bepaald op basis van maatcontracten. Bij het inbouwen van de veronderstellingen werd rekening gehouden met de evolutie van de energieprijzen van de voorbije jaren.	0,40€/kWh	0,43€/kWh	0,60€/kWh
<b>Prijsstijging (reëel) PV (%/jaar)</b>	De prijs voor de opgewekte PV – energie zal de komende jaren hoogstwaarschijnlijk toenemen (in reële termen). In overheidsrapporten wordt steeds gewerkt met 2%. In een pessimistisch scenario zou dit percentage lager kunnen liggen.	1%	2%	2%
<b>Waarde van een huis (€)</b>	De gemiddelde waarde van een huis gelegen in de woonwijk Tuilt kan niet precies worden weergegeven, maar wordt door architecten geraamd tussen de hiergenoemde grenzen.	€170 000	€200 000	€250 000
<b>Waarde van een grond (€)</b>	De gemiddelde waarde van een bouwgrond gelegen in de woonwijk Tuilt kan niet precies worden weergegeven, maar wordt door architecten geraamd tussen de hiergenoemde grenzen.	€50 000	€75 000	€110 000

Verwachte jaarlijkse reële prijsstijging onroerend goed (%)	De evolutie van prijzen van onroerende goederen is moeilijk te voorspellen, wel wordt verwacht dat deze prijzen de komende jaren zullen toenemen.	0%	2,26 % (= * 1,25 over 10 jaar)	5% (=*1,6 over 10 jaar)
NSDI (%)	De assumpties in verband met de Noise Sensitivity Depreciation Index werden bepaald aan de hand van wetenschappelijke literatuur <sup>[IV.15, IV.16, IV.17, IV.18, IV.19, IV.20, IV.21]</sup> .	0,3%	0,5%	1%

Deze veronderstellingen worden ingebouwd in het programma “Crystal ball”, dat vervolgens 10 000 simulaties zal uitvoeren om de invloed van deze variabelen te bepalen op de NAW van het PV - gedeelte exclusief en inclusief ecologische baat, op de NAW van het geluidsscherm en op de NAW van het gehele fotovoltaïsch geluidsscherm. De resultaten van deze simulatie zijn terug te vinden in Bijlage 9: Resultaten Monte Carlo Simulatie; hieronder volgt een korte bespreking van deze resultaten.

- **NAW PV – gedeelte exclusief ecologische baat**

In figuur 4.6 wordt de verdeling weergegeven van de NAW van het PV – gedeelte exclusief de ecologische baat. De spreiding van deze NAW wordt verklaard door de spreiding van een aantal andere variabelen, die we zelf hebben gedefinieerd in het model (zie tabel 4.5). Uit onderstaande figuur blijkt dat het 100% zeker is dat de NAW van de investering in het PV – gedeelte positief zal zijn.



Een volgend nuttig onderdeel dat wordt weergegeven is de tabel met “statistics” (zie tabel 4.6). Hieruit kunnen we een heel aantal interessante maatstaven aflezen waaronder het aantal “trials”, dit wil zeggen het aantal keer dat Crystal Ball de simulatie heeft laten lopen, het gemiddelde, de mediaan, de standaardafwijking, de variantie, de “skewness” of schuinheid, de kurtosis, de minimale waarde, de maximale waarde en de range van de NAW.

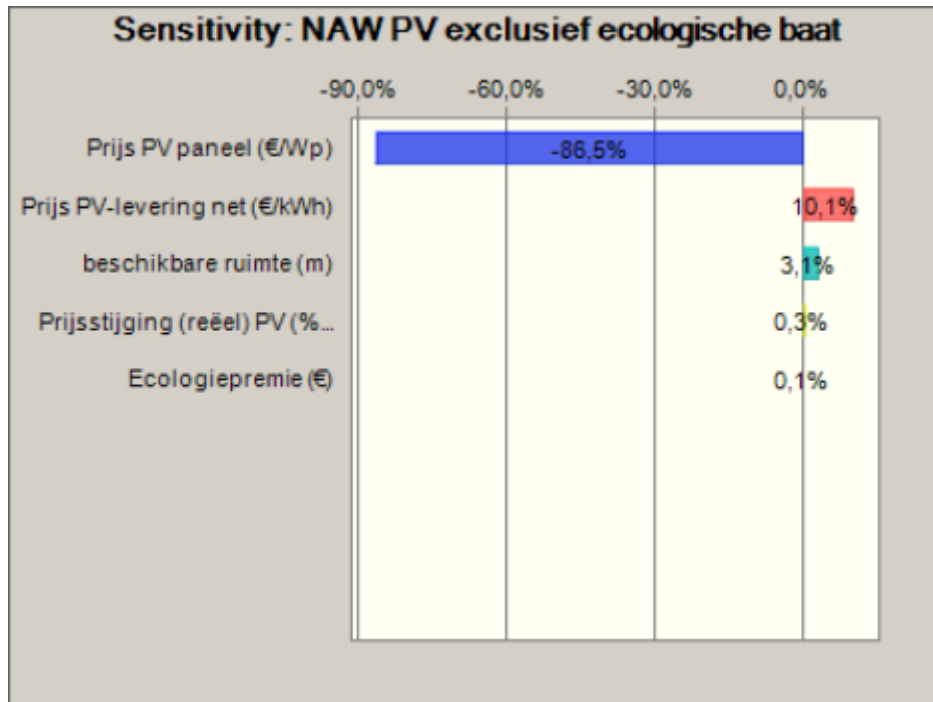
De simulatie met betrekking tot de NAW van het PV – gedeelte exclusief ecologische baat werd 10 000 keer gerund, en komt uit op een gemiddelde waarde van €200 997.

**Tabel 4. 6 Statistieken NAW PV exclusief ecologische baat**

Statistics:	Forecast values
Trials	10.000
Mean	200.997 €
Median	206.582 €
Mode	---
Standard Deviation	62.778 €
Variance	3.941.060.757 €
Skewness	-0,2924
Kurtosis	2,56
Coeff. of Variability	0,3123
Minimum	13.144 €
Maximum	376.071 €
Range Width	362.927 €
Mean Std. Error	628 €

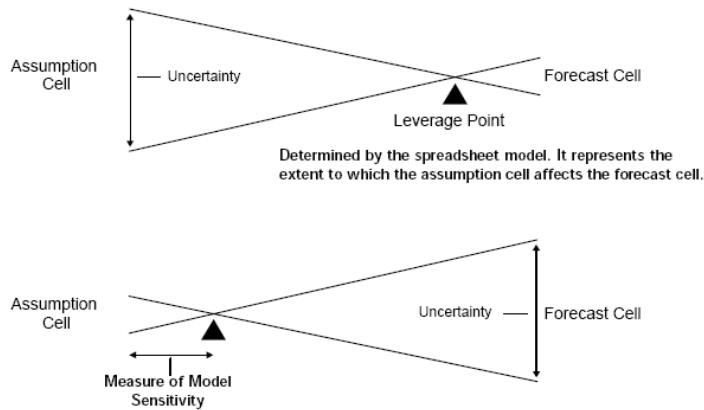
Tenslotte is het ook nuttig om te weten wat precies de invloed is van elke assumptie op de NAW. Hiertoe kan je met behulp van Crystal Ball “sensitivity charts” genereren. Een voorbeeld van een sensitivity chart is weergegeven in figuur 4.7. De interpretatie is als volgt: de spreiding in de NAW wordt voor het overgrote deel (86,5%) bepaald door de spreiding in de prijs van de PV - panelen. 10,1% van de totale spreiding van de NAW is te wijten aan de spreiding in de variabele “Prijs PV – levering aan het net”. Ook de beschikbare ruimte neemt een klein gedeelte van de spreiding, namelijk 3,1%, op zich. Verder geldt ook nog het volgende: een balk naar links, vergezeld van een negatief teken, betekent in het algemeen “hoe hoger de waarde van deze variabele, hoe lager de NAW”. Bijvoorbeeld, hoe hoger de prijs van het PV – paneel, hoe lager de NAW van het PV – gedeelte. Omgekeerd geldt hetzelfde: hoe hoger de prijs die verkregen wordt voor PV – levering aan het net, hoe hoger de NAW.

Figuur 4. 7 Sensitivity chart NAW PV exclusief ecologische baat



Hierbij dient opgemerkt te worden dat de sensitiviteit van een voorspelde waarde (in dit geval de NAW) ten opzichte van een assumptie bepaald wordt door de combinatie van 2 factoren, namelijk de mate van onzekerheid toegekend aan een assumptie en de sensitiviteit van het model ten opzichte van een assumptie. Dit wordt duidelijk gemaakt in figuur 4.8. Je ziet in deze figuur dat de spreiding die je toekent aan een variabele (“assumption cell”) een invloed heeft op de spreiding van de voorspelde waarde (“forecast cell”). Logischerwijze zal de spreiding in de voorspelde waarde groter zijn naarmate de spreiding toegekend aan een bepaalde variabele groter is. Echter, er is nog een andere factor die mee bepaalt in welke mate er spreiding zal bestaan rondom de voorspelde waarde, namelijk de sensitiviteit van het model. Deze wordt in figuur 4.8 bepaald door de positie van het “leverage point”, die volledig wordt bepaald door het model zelf. Hoe verder dit punt naar rechts ligt op de figuur, hoe kleiner de invloed zal zijn van de spreiding van een bepaalde variabele op de spreiding van de voorspelde waarde <sup>[IV.27]</sup>.

**Figuur 4. 8 Relatie tussen de sensitiviteit van een voorspelde waarde en de onzekerheid toegekend aan een assumptie / sensitiviteit van het model (CRYSTAL BALL 7.3, user manual)**



Ter volledigheid, voeg ik tabel 4.7 toe. In deze tabel is een duidelijk overzicht weergegeven van de “range in % punten” van de variabelen gebruikt in de simulatie. Uit deze tabel blijkt dat een brede range vastgelegd is voor de NSDI – waarde (140%). Logischerwijze zal de NSDI – waarde dus ook een relatief groot percentage van de variabiliteit in de NAW verklaren (zie Bijlage 9: Resultaten Monte Carlo Simulatie). Echter, de range toegekend aan de reële prijsstijging van huizen en gronden is nog groter (221%) en toch verklaart deze variabele slechts een klein gedeelte van de spreiding in de NAW (zie opnieuw Bijlage 9: Resultaten Monte Carlo Simulatie). Dit wijst erop dat niet enkel de range van toegekende waarden, maar ook het model op zich een rol speelt in het verklaren van de sensitiviteit van de NAW.

**Tabel 4. 7 Overzicht van de range toegekend aan de variabelen gebruikt in de simulatie**

		Meest waarsch waarde	Min	Max	% verschil minimum	% verschil maximum	Range' in % punten
Beschikbare ruimte	m	747	650	747	-13,0%	0,0%	13,0%
Prijs paneel inclus toebehoren	€/Wp	2,8	2,6	3,4	-7,1%	21,4%	28,6%
Prijs PV stroom levering a net	€/kWh	0,043	0,04	0,06	-7,0%	39,5%	46,5%
Prijsstijging (reëel) PV stroom geleverd aan net	% / jr	2,0%	1%	2%	-50,0%	0,0%	50,0%
Ecologiepremie % v/d PV Investering (eenmalig)	%	0,5%	0%	0,5%	-100,0%	0,0%	100,0%
Noise Depreciation Index (NDI)	%	0,50%	0,30%	1,00%	-40,0%	100,0%	140,0%
Waarde van een huis	€	200.000	170000	250000	-15,0%	25,0%	40,0%
Reële prijsstijging huizen/ grond per jaar	% /jaar	2,26%	0,00%	5,00%	-100,0%	121,2%	221,2%
Waarde van een grond	€	75000	50000	110000	-33,3%	46,7%	80,0%

- **NAW PV – gedeelte inclusief ecologische baat**

Wanneer de ecologische baat van het PV – gedeelte, namelijk de vermeden CO<sub>2</sub> – uitstoot, mee in rekening wordt gebracht, zal de NAW vanzelfsprekend ook altijd positief zijn. De gemiddelde waarde van de NAW bedraagt dan €225 508. Voor de relevante figuren verwijzen we naar bijlage 7.9.2.

- **NAW geluidsscherm, inclusief ecologische baat**

Zoals reeds eerder aangegeven, wordt verwacht dat grond- en huizenprijzen stijgen naar aanleiding van plaatsing van een geluidsscherm. Wanneer deze baat in rekening gebracht wordt in de analyse, bestaat er een kans van 54,16% dat de NAW van het geluidsscherm toch positief zou zijn. De gemiddelde NAW bedraagt dan €56 329. De spreiding in de NAW wordt voor het grootste deel (voor 85,8%) bepaald door de waarde toegekend aan de NSDI. De jaarlijkse reële stijging in huizenprijzen en de waarde van de huizen verklaren respectievelijk 8,3% en 5,8% van de variabiliteit in de NAW. Voor de output van de Crystal Ball simulatie verwijzen we naar bijlage 7.9.3.

- **NAW van de gehele fotovoltaïsche geluidsbarrière inclusief ecologische baten**

De gehele investering in het fotovoltaïsch geluidsscherm heeft 90,59% kans om een positieve NAW uit te komen, indien rekening gehouden wordt met de sociale baten van vermindering van geluidsoverlast en vermeden CO<sub>2</sub> – uitstoot. Ook de gemiddelde waarde van de NAW komt positief uit, namelijk €314 526. De spreiding in deze NAW wordt voor 79,7% verklaard door de spreiding in de NSDI, voor 7,2% door de jaarlijkse reële stijging in huizenprijzen, voor 6,6% door de waarde van huizen, voor 5,2% door de prijs van PV en voor 0,6% door de vergoeding die je krijgt voor PV – levering aan het net. De relevante figuren zijn terug te vinden in bijlage 7.9.4.



## Hoofdstuk 5: Conclusies

Dit hoofdstuk zal starten met een duidelijk, bondig antwoord op de individuele deelvragen. Vervolgens worden bemerkingen van enkele relevante stakeholders in beschouwing genomen, waaronder PV – specialisten Kristoff Van Rattinche van het studie bureau 3E en Stefan Dewallef van de firma Soltech, geluidsspecialist Peter Stulens en hoofd van Cleantech & Energy Roeland Engelen van de Limburgse Reconversie maatschappij. Ook wordt in dit hoofdstuk een SWOT – analyse weergegeven, waarin de sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen met betrekking tot fotovoltaïsche geluidsschermen summier worden opgesomd. Het hoofdstuk sluit af met enkele aanbevelingen zowel aan de overheid als aan bedrijven.

### 5.1 Overzicht van de antwoorden op de deelvragen

Momenteel bedraagt de jaarlijkse energieconsumptie wereldwijd meer dan 16TW ( $16 * 10^{12}W$ )<sup>[II.3]</sup>. De laatste jaren wordt steeds meer aandacht besteed aan de energieproblematiek die hiermee gepaard gaat. Zo denken we in de eerste plaats aan de uitstoot van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) die voortkomt uit de uitstoot van fossiele brandstoffen. CO<sub>2</sub> is een broeikasgas en draagt bij aan de opwarming van onze planeet met alle gevolgen van dien<sup>[I.4]</sup>. Een ander probleem waar we mee in aanraking komen is het fenomeen van “piekolie”, dat stelt dat de olieproductie een klokvormig verloop kent. Er wordt verwacht dat de globale piek van deze olieproductie deze eeuw nog zal plaatsvinden, wat erop wijst dat het ontginnen van olie steeds duurder en moeilijker zal worden<sup>[II.13, II.1]</sup>.

De bewustwording van de energieproblematiek leidt wereldwijd tot een grote motivatie om op zoek te gaan naar oplossingen. Zo heeft Europa bijvoorbeeld ambitieuze doelstellingen opgelegd voor het jaar 2020, waarin hernieuwbare bronnen 20% van de Europese energievoorziening voor hun rekening zouden moeten nemen<sup>[I.7]</sup>. Het vooropgestelde aandeel voor België bedraagt 13%<sup>[I.8]</sup>, waar we momenteel nog ver van af zitten.

Jammer genoeg bestaat er momenteel geen enkele hernieuwbare energiebron die de energievoorziening zelfstandig op zich kan nemen, alle opties zullen in combinatie moeten worden benut. Een mogelijke kandidaat hiervoor is fotovoltaïsche - energie opgewekt met behulp van de zon. De zon is een hernieuwbare energiebron met een bijna eindeloos potentieel; de zon levert namelijk elk uur meer energie aan de aarde dan we jaarlijks verbruiken<sup>[II.12,II.1]</sup>. De meest belangrijke reden die verklaart waarom fotovoltaïsche zonne – energie geen groter deel van de energievoorziening uitmaakt, is de grote kost die ermee gepaard gaat. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de leercurve met betrekking tot de kost van de productie van PV – modules stijl naar beneden loopt: bij

een verdubbeling van het wereldwijd geaccumuleerd geproduceerd volume daalt de kost van de productie van PV – modules met 20%, dankzij de combinatie van “technology learning” en “scale learning”.

PV – systemen kunnen gebruikt worden in een heel aantal toepassingsgebieden. Een probleem dat zich hierbij stelt, is dat de beschikbare oppervlakte voor het plaatsen ervan beperkt is. Het zou daarom nuttig kunnen zijn om dergelijke systemen uit te breiden naar “verloren” oppervlakten, zoals bijvoorbeeld stroken langs autowegen en spoorwegen. Dit brengt ons bij een innovatieve toepassing van een netgekoppeld systeem, namelijk een fotovoltaïsch – geluidsscherm<sup>[1.12]</sup>. Bij dergelijke schermen worden PV – panelen gemonteerd op of geïntegreerd in een geluidsscherm, dat je typisch kan terugvinden langs drukke wegen zoals spoorwegen of autosnelwegen. Een PV – geluidsscherm is een innovatieve mogelijkheid die ervoor zou kunnen zorgen dat het aandeel van PV in de totale energievoorziening stijgt, zonder hierbij aanspraak te maken op extra ruimte. De centrale onderzoeksvraag (COV) van de deze eindverhandeling luidde dan ook als volgt:

**“Wat is de economische en ecologische impact van PV in geluidsbarrières?”**

Deze COV wordt beantwoord aan de hand van volgende deelvragen:

- **Deelvraag 1: Wat is in Europa de huidige stand van zaken wat betreft PV – geluidsschermen? Hierbij wordt enerzijds een overzicht bedoeld van de reeds geïnstalleerde capaciteit in Europa, en anderzijds een overzicht van de bestaande technologieën.**

Een overzicht van de reeds geïnstalleerde capaciteit is terug te vinden in tabel 3.1. In Europa is een totaal vermogen van 3113,6kWp aan fotovoltaïsche geluidsschermen geïnstalleerd, waarmee ongeveer 700 gezinnen van groene stroom voorzien kunnen worden. Hiervan is het grootste deel terug te vinden in Duitsland, gevolgd door Italië, Zwitserland, Nederland, Oostenrijk en Frankrijk. In België is tot op de dag vandaag nog geen fotovoltaïsche geluidsbarrière terug te vinden. Voor meer informatie over de geïnstalleerde capaciteit, zie 3.2.1 Overzicht van de bestaande PVNB's.

Voor een overzicht van de bestaande technologieën, verwijzen we naar figuur 3.12 (zie 3.3.1 Verschillende PVNB structuren). Vanuit technisch standpunt kunnen deze verschillende structuren onderverdeeld worden in 2 categorieën: top – mounted structuren (nummers 1 en 2) en geïntegreerde structuren (nummers 3, 4, 5 en 6). Een korte beschrijving van deze technologieën is overzichtelijk weergegeven in volgende tabel<sup>[III.5, III.3,III.29,III.6b]</sup>:

Nummer	Naam technologie	Korte beschrijving
1	Top mounted structuur	PV – panelen worden bovenop het geluidsscherm geïnstalleerd onder een bepaalde hellingshoek
2	Shingle structuur	PV – panelen worden dakpansgewijs op het scherm gemonteerd onder een bepaalde hellingshoek
3	Oost – west verticaal scherm	Geschikt voor een autostrade die van oost naar west loopt, PV – cellen worden aan 1 zijde van het scherm verticaal geïntegreerd, gericht naar het zuiden
4	Noord – zuid verticaal scherm, bifaciale technologie	Geschikt voor een autostrade die loopt van noord naar zuid, bifaciale cellen (tweezijdige, lichtgevoelige zonnecellen) worden verticaal in het scherm geïntegreerd, 1 zijde richting het oosten en de andere zijde richting het westen
5	Horizontale zig zag technologie	Zonnecellen worden op een compacte manier geïntegreerd in het geluidsscherm onder een bepaalde hellingshoek
6	Casette technologie	Zonnecellen worden op een compacte manier geïntegreerd in het geluidsscherm onder een bepaalde hellingshoek

- **Deelvraag 2: Wat is het potentieel van PV in geluidsbarrières in Europa en in België (potentieel uitgedrukt in MWp)?**

In 1999 werd een studie uitgevoerd door Goetzberger<sup>[III.5]</sup>, waarin onder andere het theoretisch potentieel berekend werd van PVNB's langs spoorwegen en autowegen in Duitsland, Zwitserland, Nederland, Engeland, Italië en Frankrijk. Het theoretisch potentieel betreft het maximaal mogelijke potentieel; hiertoe zouden alle autosnelwegen en spoorwegen uitgerust worden van PVNB's, PV zou geplaatst worden een optimale hellingshoek, technologieën zouden verder ontwikkeld worden en er wordt geen rekening gehouden met schaduw. De resultaten van deze studie zijn weergegeven in onderstaande tabel. Om een zicht te krijgen op deze getallen, heb ik een rij "#gezinnen" toegevoegd. Deze rij geeft het aantal gezinnen weer dat jaarlijks van groene stroom zou kunnen worden voorzien, uitgaande van de veronderstelling dat een gezin jaarlijks 3750kWh verbruikt. Ook heb ik een rij "vermeden CO<sub>2</sub> – uitstoot" toegevoegd, die weergeeft hoeveel ton CO<sub>2</sub> – uitstoot er jaarlijks

vermeden kan worden dankzij de opwekking van groene stroom, uitgaande van de veronderstelling dat 1kWh opgewekte stroom een uitstoot van 0,385kg CO<sub>2</sub> met zich meebrengt<sup>[iv.24]</sup>.

	Zwitserland	Duitsland	Nederland	Engeland	Italië	Frankrijk	Totaal
<b>Theoretisch potentieel (MWp)</b>	3658	18870	5854	21439	12297	21381	<b>83499</b>
<b># gezinnen</b>	780373	4025600	1248853	4573653	2623360	4561280	<b>17813120</b>
<b>Vermeden CO<sub>2</sub> uitstoot (ton CO<sub>2</sub>)</b>	1125256	5804695	1800778	6594958	3782742	6577116	<b>25685545</b>

Verder werd in deze zelfde studie tevens het potentieel van een aantal andere Europese landen (België, Denemarken, Griekenland, Ierland, Luxemburg, Portugal, Spanje) bepaald. Dit potentieel werd niet in detail berekend, maar afgeleid uit de resultaten bekomen voor bovenstaande onderzochte landen. Ook hier heb ik het aantal gezinnen jaarlijks voorzien van groene stroom en de jaarlijks vermeden CO<sub>2</sub> – uitstoot toegevoegd. De resultaten hiervan zijn als volgt:

	België	Denemarken	Griekenland	Ierland	Luxemburg	Portugal	Spanje	Totaal
<b>Theoretisch potentieel (MWp)</b>	4355	1376	1563	268	273	957	8571	<b>17363</b>
<b># gezinnen</b>	929067	293547	333440	57173	58240	204160	1828480	<b>3704107</b>
<b>Vermeden CO<sub>2</sub> uitstoot (ton CO<sub>2</sub>)</b>	1339663	423278	480802	82441	83979	294388	2636568	<b>5341119</b>

In het kader van deze eindverhandeling leek het zinvol om de specifieke veronderstellingen van dit onderzoek na te gaan. Ter volledigheid heb ik tevens getracht zelf het potentieel te bepalen in België, respectievelijk Vlaanderen, aan de hand van zo realistisch mogelijke assumpties die momenteel gelden in België. De resultaten hiervan zijn terug te vinden in tabellen 3.3 en 3.4.

Volgens eigen berekeningen bedraagt het theoretisch potentieel van PVNB's in België langs autosnelwegen 1013,9MWp en 1859MWp langs spoorwegen. Hiervan is 507,7 respectievelijk

1009,7MWp afkomstig uit Vlaanderen. Grofweg kunnen we stellen dat de resultaten uit de studie van Goetzberger een factor 1,5 hoger liggen dan de eigen resultaten. Dit verschil is toe te schrijven aan 2 belangrijke factoren, namelijk het aantal panelen dat onder elkaar wordt geplaatst enerzijds en de opbrengst van de panelen uitgedrukt in kWh/kWp anderzijds. Voor meer informatie over deze deelvraag verwijzen we naar 3.4 Potentieel van PVNB's in Europa.

- **Deelvraag 3: Wat is terug te vinden in de wetgeving in verband met PV - geluidsschermen? Laat de Belgische wetgeving privaat – publieke samenwerking toe voor PV in geluidsschermen langs autowegen en spoorwegen?**

Wat betreft geluidsschermen bestaat er bij ons in Vlaanderen een uitgebreide, ingewikkelde regelgeving. Wanneer een klacht ingediend wordt wegens excessief geluid, voeren specialisten van het Agentschap Wegen en Verkeer een geluidsmeting uit ter plaatste. Men baseert zich vervolgens op richtwaarden om te bepalen of er al dan niet een geluidsscherm komt. Deze waarden liggen wettelijk niet vast, men baseert zich op richtwaarden die variëren tussen 55 en 65dB overdag en tussen 45 en 58dB 's nachts<sup>[III.20]</sup>. Verder bestaat er een aparte regelgeving betreffende de financiering van geluidsschermen, die wordt vastgelegd in module 5 van het mobiliteitsconvenant van 1996<sup>[III.12,III.21]</sup>. Afhankelijk van het gemeten geluidsniveau, betalen het gewest en de lokale overheid elk een specifiek deel van de kosten van het geluidsscherm. Voor de precieze bijdrage van de lokale overheid in functie van het gemeten geluidsniveau verwijzen we naar figuur 3.23. Tenslotte worden ook technische eisen gesteld waaraan geluidsschermen moeten voldoen. Deze worden bepaald in de CE – markering van verkeersgeluidsschermen volgens NBN EN 14388, en zijn bedoeld voor producenten<sup>[III.17,III.18,III.19]</sup>.

Wat betreft de specifieke regelgeving omtrent fotovoltaïsche geluidsbarrières in ons land zijn we snel uitgepraat; er bestaat geen regelgeving over. Wel hebben specialisten van het agentschap wegen en verkeer bevestigd dat een publiek – private samenwerking met betrekking tot fotovoltaïsche geluidsschermen niet verboden is. Het is dus perfect mogelijk dat de overheid eigenaar zou zijn van het geluidsscherm, en dat vervolgens een bedrijf de investering doet in het PV – gedeelte<sup>[III.31,III.32,III.33]</sup>, wat ook de normale gang van zaken is in bijvoorbeeld Nederland en Duitsland<sup>[III.29,III.30]</sup>. Dit kan bijvoorbeeld in de vorm van een concessie. Voor meer info over deze deelvraag, zie 3.5.3 Regelgeving.

- **Deelvraag 4: Wat is het effect van een (fotovoltaïsch) geluidsscherm voor de omwonenden -uitgedrukt in dB (ecologisch)?  
-uitgedrukt in stijging van de waarde van huizenprijzen en grondprijzen (economisch)?**

Plaatsing van een geluidsscherm kan ervoor zorgen dat in een zone vlak achter het scherm een vermindering van het equivalente geluidsniveau ( $L_{Aeq}$ ) van iets meer dan 10dB(A) bekomen wordt; voor het menselijk gehoor komt dit overeen met een halvering van het geluid. Naarmate de afstand tot het scherm toeneemt, vermindert de reductie van het geluidsniveau. Op een afstand van 250m van het scherm is deze verlaging beperkt tot enkele dB(A)<sup>[III.22,III.23,III.26,III.27]</sup>. Voor een duidelijk voorbeeld verwijzen we naar figuur 4.5.

Verkeersgeluid kan een negatieve impact hebben op de gezondheid van de mens. Deze gezondheidsproblemen brengen heel wat sociale kosten met zich mee (ziekenhuiskosten,...)<sup>[IV.14]</sup>. De hedonische waarderingmethode (HP) is een mogelijkheid om deze sociale kost uit te drukken in geldelijke termen. De redenering gaat als volgt: door plaatsing van een geluidsscherm wordt de geluidsoverlast voor huizen en gronden achter het scherm verminderd; kopers zijn bereid om hier meer voor te betalen doordat de negatieve gezondheidseffecten van verkeersgeluid gedeeltelijk vermeden kunnen worden. HP – studies geven waarden weer in termen van de Noise Sensitivity Depreciation Index (NSDI) die gedefinieerd wordt als “de gemiddelde procentuele verandering in huizen- of grondprijzen per dB stijging in geluidsniveau”. De waarden voor de NSDI in de literatuur zijn erg uiteenlopend, daarom werd in deze eindverhandeling een Monte Carlo simulatie uitgevoerd om de invloed van deze variabiliteit op de NAW van de netto baten na te gaan. De uiteindelijke waarde van de NSDI waarmee gewerkt werd bedraagt 0,5%. In de gevalstudie die behandeld werd in deze thesis, namelijk een eventueel allereerst fotovoltaïsch geluidsscherm in België langs de E313 ter hoogte van de woonwijk Tuilt (Hasselt), zou het geluidsscherm de waarde van de huizen en gronden in de wijk achter het scherm in totaal opkrikken met €1 299 000 en €86 437,5. Voor meer info over deze deelvraag, zie 3.5.2 Werking en effect van een geluidswerend scherm en 4.3.2.2 Ecologische baat geluidsscherm.

- **Deelvraag 5: Hoeveel CO<sub>2</sub> – uitstoot kan vermeden worden dankzij de energieopwekking met behulp van het fotovoltaïsch geluidsscherm**
  - uitgedrukt in ton CO<sub>2</sub> (ecologisch)?
  - uitgedrukt in euro (economisch)?

Ervan uitgaande dat Vlaanderen gemiddeld 385 g CO<sub>2</sub> per geproduceerde kWh elektriciteit uitstoot<sup>[IV.24]</sup>, dat de prijs van een CO<sub>2</sub> – emissierecht in 2012 €15,75 zal bedragen<sup>[IV.25]</sup> en dat de fotovoltaïsche geluidsbarrrière jaarlijks 343 190 kWh aan het net zal leveren, kan worden gesteld dat jaarlijks een CO<sub>2</sub> – uitstoot van 132 ton vermeden kan worden, wat overeenkomt met een jaarlijkse economische baat van €2081. Voor meer info over deze deelvraag verwijzen we naar paragraaf 4.3.1.3 Ecologische baat PV – gedeelte.

- **Deelvraag 6: Case study; Is de investering in een PV – geluidsscherm langs de autosnelweg E313 in België ter hoogte van de woonwijk Tuilt (Hasselt) rendabel?**

De resultaten van de kosten batenanalyse geven aan dat de investering in het PV gedeelte op zich (zelfs zonder rekening te houden met ecologische baten) rendabel is, met een NCW van €249 223. Ook de investering in het gehele fotonvoltaïsch geluidsscherm zou maatschappelijk bekeken rendabel zijn met een NCW van €137 816, op voorwaarde dat de ecologische baten mee in rekening worden gebracht. De NCW van het geluidsscherm op zich is negatief wanneer het geluidsscherm bekeken wordt over 20 jaar, maar wordt positief op 25 jaar bekeken. Hieruit kunnen we afleiden dat de economische kost van het plaatsen van een geluidsscherm terugverdiend kan worden dankzij de ecologische baat van geluidsvermindering, die tot uiting komt in een stijging van de huizen- en grondprijzen. Maatschappelijk bekeken zou investeren in een geluidsscherm dus rendabel kunnen zijn. Voor een overzicht van de resultaten verwijzen we naar tabel 4.2, 4.3 en 4.4. Meer info is terug te vinden in paragraaf 4.3.3 NCW, TVT en IRR van de investering.

Tenslotte werd getracht om rekening te houden met onzekerheid die gepaard gaat met een aantal belangrijke variabelen, zoals bijvoorbeeld de kostprijs van de opwekking van PV – energie, de waarde van de NSDI,... Aan de hand van een aantal ingebouwde assumpties (zie Tabel 4. 5 Veronderstellingen van het model) werd met behulp van het programma Crystal Ball een Monte Carlo simulatie uitgevoerd om de invloed na te gaan van deze onzekerheden op de NAW van de investering. De uiteindelijke resultaten van deze simulatie wijzen erop dat het 100% zeker is dat de NAW van het PV – gedeelte positief zal zijn, zelfs al worden de ecologische baten niet in rekening gebracht. De investering in enkel het geluidsscherm heeft 54,16% kans om een positieve waarde aan te nemen, op voorwaarde dat de baten van geluidsvermindering mee in rekening worden gebracht. De investering in het gehele fotonvoltaïsch scherm heeft een kans van 90,59% om positief te zijn, indien de ecologische baten van CO<sub>2</sub> – reductie en het verminderen van geluidsoverlast mee worden opgenomen. Voor meer informatie verwijzen we naar paragraaf 4.3.4 Monte – Carlo simulatie en Bijlage 9: Resultaten Monte Carlo Simulatie.

- **Outlookvraag: Is een systematische implantatie van PV langs autowegen (“solar highways”) en spoorwegen een realistische route voor grootschalige fotonvoltaïsche – energie generatie (alternatief concept voor PV – centrales)?**

Het idee van het overkappen van spoorwegen met PV is de laatste tijd herhaaldelijk teruggekomen in de media. Zo is bijvoorbeeld spoorwegbeheerder ProRail in Nederland bezig met een onderzoek naar de mogelijkheid om 2 800km spoorweg met een gemiddelde spoorbreedte van ongeveer 12m te overkappen met PV<sup>[<http://www.duurzaamgebouwd.nl/index.php?pageID=3946&messageID=2554>]</sup>. Ook het idee om

autosnelwegen te overdekken met PV is reeds aanwezig, zo denken we bijvoorbeeld aan de recent gerealiseerde constructie in Afschaffenburg in Duitsland (zie 3.2.2 Mijlpalen in de evolutie van PVNB's). Echter, het idee van grootschalige "solar highways" wordt door de geïnterviewde stakeholders bestempeld als "een leuk, maar onrealistisch idee". Tegenargumenten zijn onder andere het landschapselement; het zou niet aangenaam zijn om tussen muren te moeten rijden en het verhoogde risico op schade; denken we maar aan steenslag, vandalisme en verkeersongevallen. Verder werd ook opgemerkt dat indien de overheid een verandering wenst door te voeren aan de snelweg, de PV – panelen onmiddellijk verwijderd zouden moeten worden. Een volgend probleem is van technische aard, het is namelijk zo dat wanneer PV grootschalig op willekeurige plaatsen zou worden opgewekt, dit lokaal zou kunnen leiden tot overbelasting van het netwerk. Tenslotte wordt ook het argument van geluidsweerkaatsing aangehaald, immers PV – panelen weerkaatsen het geluid. Voor meer info omtrent deze deelvraag, zie 5.2 Bespreking met relevante stakeholders.

## **5.2 Bespreking met relevante stakeholders**

Met als doel deze thesis zo dicht mogelijk te laten aansluiten bij de realiteit, leek het een goed idee om enkele belangrijke punten te overlopen met een aantal relevante stakeholders. Hierbij denken we vooreerst aan het studiebureau 3E, gespecialiseerd in het verlenen van hulp bij de realisatie van innovatieve hernieuwbare energieprojecten. Verder lijkt het ook interessant om de kritische mening te vragen van specialisten op vlak van PV enerzijds, en op vlak van geluidsschermen anderzijds. Tenslotte zal ook een gesprek gevoerd worden met mogelijke investeerders in Vlaanderen, zoals de Limburgse Reconversie Maatschappij (LRM).

### **5.2.1 Interview met Kristoff Van Rattinhe (3E)**

Een eerste interessante partij die zeker thuis is in innovatieve hernieuwbare energieprojecten is het studiebureau 3E. De heer Kristoff Van Rattinhe, ingenieur – econoom, heeft mij te woord gestaan bij het overlopen van enkele interessante punten.

Vooreerst heb ik samen met de heer Van Rattinhe mijn kosten – batenanalyse overlopen. Een eerste opmerking die hij maakte had betrekking op de kostprijs van de zonne-installatie(dit is het geheel dat bestaat uit modules, omvormers, kabels, bevestigingsmaterialen, werkuren,...), die in de analyse vast staat op 2,8€/Wp. De heer Van Rattinhe merkt op dat dankzij het schaafeffect van productie we ondertussen nog verder naar beneden gezakt zijn langsheen de PV – leercurve, waardoor deze installatieprijs ("best market conditions") momenteel slechts 2,5€/Wp zou bedragen voor industriële projecten en mogelijks nog lager zal zijn in 2012. Verder werd ook een opmerking gemaakt betreffende de prijs die verkregen wordt voor opgewekte energie geleverd aan het net.



Volgens de heer Van Rattinche bedraagt deze prijs momenteel gemiddeld ongeveer 55€/MWh voor een afnamecontract over meerdere jaren, wat hoger is dan de 43€/MWh gebruikt in de analyse. Om dit te staven verwijst hij naar de future prices voor piek electriciteit "ENDEX".

Tenslotte voegt de heer Van Rattinche toe dat het scenario veel optimistischer zou kunnen zijn indien de investering gedaan zou worden door een lokale verbruiker, aangezien er dan gewerkt zou kunnen worden met een veel hogere vergoeding voor de opgewekte stroom. Onder deze assumpties zou volgens hem de terugverdientijd van de PV – installatie terugvallen op 7 jaar, in plaats van 11 jaar. Ik heb tevens een nieuwe Monte Carlo – simulatie uitgevoerd met als assumpties een kostprijs voor PV – wekking van 2,5€/Wp, met grenzen tussen 2,3 en 2,7€/Wp en een vergoeding voor geleverde stroom van 55€/MWh, met grenzen tussen 50 en 120€/MWh (indien de investering gedaan zou worden door een lokale verbruiker). Dit levert een gemiddelde IRR op van ongeveer 10% en een gemiddelde NAW van 435 242€ voor het PV – gedeelte (exclusief de ecologische baat).

Wat betreft de studie reeds uitgevoerd in 2001, kon de heer Van Rattinche mij niet verder helpen, hij maakte zelf geen deel uit van deze studie. Hij merkt wel op dat zonne – energie de laatste 10 jaar een enorme evolutie heeft gekend, en pas de laatste 2 jaar een echte "booming business" is geworden binnen België. Ook het feit dat er geen duidelijke definitie bestaat omtrent de publiek – private samenwerking voor hernieuwbare energie zou volgens de heer Van Rattinche een rol kunnen spelen. Echter, nu de mogelijkheid bestaat en nu Duitsland de "voortrekkersrol" op zich heeft genomen, zou er volgens de heer Van Rattinche zeker interesse kunnen komen vanuit de privésector.

Verder heb ik de heer Van Rattinche gevraagd naar zijn persoonlijke mening over de introductie van fotovoltaïsche geluidsschermen in België. Hij vond dit zeker en vast een goed idee, en dat om verschillende redenen. Ten eerste is er steeds het esthetisch aspect dat meespeelt bij het plaatsen van zonne – panelen; in dat kader is het veel minder erg om PV te plaatsen langs autosnelwegen dan bijvoorbeeld in natuurgebieden of op sommige andere plaatsen. Een tweede belangrijk punt betreft het imago; plaatsen van PVNB's is volgens de heer Van Rattinche een symbool naar de buitenwereld toe dat je de schaarse beschikbare oppervlakte die voorhanden is gaat gebruiken voor het opwekken van hernieuwbare energie. Echter, er zijn ook enkele punten die zeker in overweging zouden genomen moeten worden. Een eerste aandachtspunt betreft het feit dat bij het opwekken van zonne – energie de energieverbruiker zich best zo dicht mogelijk bij de installatie bevindt. Hierop wordt later in het gesprek dieper ingegaan. Verder is er de kwestie van bekabeling; wanneer je 1km zonnepanelen op een rij naast elkaar plaatst zal veel meer bekabeling nodig zijn dan wanneer je deze panelen bijvoorbeeld in een vierkant zou installeren.

Ook heb ik gevraagd naar de mening over het concept van “solar highways”, waarbij eigenlijk autosnelwegen vol zouden geplaatst worden met PV, al dan niet gekoppeld met geluidsschermen. De heer Van Rattinhe had hieromtrent een nuttige bemerking, die buiten het bestek van deze verhandeling valt: bij het opwekken van zonne – energie is het belangrijk dat de verbruiker zo dicht mogelijk bij de installatie gelokaliseerd is. Immers, indien je op willekeurige plaatsen grote hoeveelheden energie gaat opwekken zou het netwerk lokaal overbelast kunnen worden. Dit zou op zijn beurt zorgen voor een hoop extra kosten aan het infrastructuurnetwerk.

Tenslotte haalt de heer Van Rattinhe aan dat de aandacht zeker gevestigd zou moeten worden op de kracht van het concept van publiek – private samenwerking. Immers, het feit dat de investering in de geluidswal publiek gebeurt, geeft eigenlijk een incentive, een extra motivatie aan de privésector om te gaan investeren in hernieuwbare energie. De waarde van het concept van fotonvoltaïsche geluidsschermen zit volgens de heer Van Rattinhe eigenlijk in het koppelen van publieke en private investeringen. Op die manier zou iedereen er baat bij hebben, zowel de overheid, de maatschappij als de private investeerder.

### **5.2.2 Interview met Peter Stulens (geluidsspecialist Agentschap Wegen en Verkeer)**

Aangezien het concept van fotonvoltaïsche geluidsschermen nooit zou kunnen gerealiseerd worden zonder de samenwerking met geluidsspecialisten, leek ook de heer Peter Stulens, werfleider bij de afdeling wegen en verkeer Limburg, een goede kandidaat om enkele vragen aan te stellen.

Met betrekking tot de CBA merkt de heer Stulens op dat het zeker nuttig is om ook de sociale baten van geluidsschermen mee in rekening te brengen. Immers, het plaatsen van geluidsschermen is eigenlijk een sociale maatregel, die een hele woonwijk zou kunnen afschermen van grote geluidsoverlast.

Verder heb ik de heer Stulens gevraagd om zijn persoonlijke mening met betrekking tot introductie van PVNB's in België. Hij is van mening dat de Vlaamse Overheid zeker zou moeten openstaan om geluidswerende maatregelen te combineren met andere ecologische maatregelen, zoals bijvoorbeeld het plaatsen van PV – panelen. De heer Stulens verwacht dat het idee op zich geen probleem zal zijn, op voorwaarde dat de investering gebeurt door een private investeerder. Immers, de budgetten van Agentschap Wegen en Verkeer zijn zeer beperkt en het opwekken van hernieuwbare energie is voor deze afdeling geen prioriteit. Hij verwacht verder ook dat de overheid bereid zou zijn de schermen ter beschikking te stellen aan een eventuele investeerder om de PV – panelen te plaatsen. Gezien

een dergelijk project een primeur zou zijn in Vlaanderen, kan de heer Stulens hier geen zekerheid over geven en verwijst hij verder naar waarnemend administrateur generaal Tom Roelands.

Een volgende vraag had betrekking op eventuele bijkomende complicaties die gepaard gaan met de introductie van fotovoltaïsche geluidsschermen. Hieromtrent haalt de heer Stulens aan dat de constructie van de allereerste PVNB een moeilijk dossier zou worden, met de nodige complicaties en hindernissen. Zo denkt hij aan technische complicaties, zoals bijvoorbeeld het feit dat het geluidsscherm de PV – panelen moet kunnen dragen in extreme weersomstandigheden. Ook administratief bekeken zou de constructie van een eerste dergelijke barrière complicaties met zich meebrengen. De heer Stulens merkt hierbij wel op dat het zeker haalbaar is om deze complicaties aan te gaan, en dat eens de constructie van de eerste PVNB achter de rug is, het proces veel vlotter zal verlopen.

Tenslotte heb ik ook aan de heer Stulens het concept van “solar highways” voorgesteld. Hij vond dit “een leuk, maar onrealistisch idee”. Zo haalde hij aan dat het risico op schade bij plaatsing van PV – panelen naast een autosnelweg groter is dan bij plaatsing op een dak. Hierbij denkt hij bijvoorbeeld aan steenslag afkomstig van vrachtwagens die puin verliezen of van een rijweg in slechte staat, ongevallen en vandalisme. Deze tegenargumenten zijn in mindere mate van toepassing op de case study, aangezien de PV – schermen daar weggedraaid zijn van de autosnelweg, maar ze vormen wel een hinderpaal voor het concept van “solar highways”. Ook merkt de heer Stulens op dat indien de overheid zou beslissen om aanpassingen door te voeren aan de autosnelweg (bijvoorbeeld de snelweg verbreden, een extra rijstrook aanleggen,...) de bermen ook onmiddellijk terug beschikbaar moeten zijn en eventuele PV – panelen terug weggehaald zouden moeten worden. Ook dit argument is niet van toepassing op de case study; in de case study zal de overheid zelf een aanzienlijke investering doen in het geluidsscherm en is de kans bijna nihil dat ze dit scherm nadien weer zouden weghalen. Echter, indien alle autosnelwegen vol geplaatst zouden zijn met PV – panelen, zou dit wel een probleem kunnen vormen.

### **5.2.3 Interview met Stefan Dewallef (Soltech)**

In het kader van deze eindverhandeling leek het tevens interessant om een interview af te nemen van een PV – specialist die betrokken was bij de studie reeds uitgevoerd in 2001 met betrekking tot de introductie van PVNB's in België. Hiertoe leek Stefan Dewallef, Product Development manager bij Soltech, een geschikte kandidaat.

Eerst en vooral heb ik aan de heer Dewallef de vraag gesteld waarom uiteindelijk de constructie van het fotovoltaïsch geluidsscherm niet is doorgegaan na de uitgevoerde studie in 2001. Hiervoor

haalde hij verschillende redenen aan. De meest belangrijke reden was een administratief – juridische reden. Zo stonden er in het lastenboek een heel aantal elementen die lastig waren voor potentiële investeerders. De heer Dewallef haalt hierbij een concreet voorbeeld aan: interpretatie van het lastenboek gaf aan dat indien een camion zou inrijden op de panelen, de panelen binnen een vastgelegd aantal dagen hersteld dienen te worden op kosten van de investeerder. Anderzijds was vastgelegd dat de panelen geëxploiteerd mogen worden gedurende 20 jaar en daarna volledig moeten worden afgebroken. De combinatie van deze twee elementen zou ertoe kunnen leiden dat wanneer er schade komt aan de panelen na het negentiende levensjaar, de investeerder toch nog verantwoordelijk gehouden zou worden voor volledige hernieuwing van installatie op eigen kosten. De heer Dewallef merkt hierbij wel op dat in 2001 het concept van PV nog relatief nieuw was, ondertussen bestaan er meerdere grootschalige PV – projecten en is het mogelijk geworden om, natuurlijk tegen betaling, PV – installaties voor schade te verzekeren. Deze en nog andere lastige voorwaarden uit het lastenboek hebben ertoe geleid dat potentiële investeerders uiteindelijk zijn afgehaakt.

Een logische volgende vraag die ik heb gesteld aan de heer Dewallef was of volgens hem de tijd ondertussen wel rijp is om te investeren in fotovoltaïsche geluidsschermen in ons land. Financieel was er volgens de heer Dewallef geen enkele reden om de investering in de PV – panelen tegen te houden. Echter, indien de investering zou gebeuren onder de vorm van een concessie zouden administratief bekeken nog steeds dezelfde problemen kunnen opduiken. Indien een investeerder gevonden moet worden, zouden de voorwaarden flexibeler moeten zijn dan opgesteld in 2001. Wel merkt de heer Dewallef op dat eens deze barrière overwonnen is, en de constructie van het eerste fotovoltaïsch geluidsscherm achter de rug is, de samenwerking tussen overheid en investeerders met betrekking tot PVNB's hoogstwaarschijnlijk veel vlotter zal verlopen.

Een laatste vraag had betrekking op het concept van de “solar highways”, waarvoor het volgens de heer Dewallef zeker nog “te vroeg” is, waar de maatschappij niet klaar voor is. Hij haalde hieromtrent enkele interessante bemerkingen aan. Ten eerste is er het niet verwaarloosbare “landschapselement”; het zou minder aangenaam zijn om over de snelweg te rijden indien je volledig ingesloten bent tussen “muren”. Ten tweede is er ook het probleem van geluidsweerkaatsing, PV panelen weerkaatsen immers geluid. De heer Dewallef merkt op dat het misschien interessanter zou kunnen zijn om spoorwegen te bekijken als mogelijke plaats om grootschalige PV – projecten te installeren; het idee om spoorwegen te overkappen met PV is de laatste maanden reeds verschillende keren opgedoken. In deze context speelt het landschapselement een veel minder belangrijke rol, en heb je ook nog eens het voordeel van reeds geïnstalleerde hoogspanningscabines waardoor het connectieprobleem veel minder groot wordt.

Een laatste element dat de heer Dewallef aanhaalt is de meerkost die komt kijken bij de plaatsing van het geluidsscherm indien het gecombineerd zou worden met PV. Zo moet het scherm bijvoorbeeld sterk genoeg zijn om de PV – constructie te kunnen dragen. Zoals reeds eerder vermeld is dit niet van toepassing op de gevalstudie, waar de panelen schuin tegen de achterkant van het geluidsscherm geplaatst zouden worden (er dus niet bovenop). Ook de installatie zelf brengt kosten met zich mee, zoals de kosten van signalisatiewagens, het afzetten van rijstroken op de autosnelweg,... Het zal daarom altijd makkelijker en voordeliger zijn om PV en geluidsscherm samen te installeren in plaats van PV achteraf aan te brengen op een bestaande geluidsmuur.

#### **5.2.4 Interview met Roeland Engelen (Limburgse Reconversiemaatschappij)**

Tenslotte zou ook een interview met een potentiële investeerder zeker een meerwaarde kunnen bieden aan deze eindverhandeling. Hiertoe heb ik een afspraak gemaakt met de heer Roeland Engelen, hoofd van Cleantech & Energy bij de Limburgse Reconversiemaatschappij te Hasselt.

Een eerste opmerking afkomstig van de heer Engelen had te maken met eventuele beschaduwning van de panelen afkomstig van voorbijrijdend vrachtverkeer. Dit zou er namelijk voor kunnen zorgen dat indien één van de panelen beschaduwd zou zijn, het gehele rendement van al de panelen aangesloten op eenzelfde omvormer aanzienlijk lager zou komen te liggen. Hoewel deze opmerking zeker juist is, is ze op de gevalstudie in Tuilt (Hasselt) niet van toepassing aangezien daar de panelen weggedraaid zouden zijn van de autosnelweg.

Vervolgens zijn we overgegaan tot het overlopen van de opgestelde CBA. Deze was volgens de heer Engelen redelijk realistisch opgesteld, hoewel onder eerder voorzichtige aannames. Een eerste discussiepunt was de installatieprijs (totaalprijs) voor de panelen die in de analyse 2,8€/Wp bedraagt in het jaar 2012. De heer Engelen merkt hierbij op dat er mogelijk een correlatie bestaat tussen de installatieprijs en de subsidies (groene stroomcertificaten) die verkregen kunnen worden, waardoor er een 'natuurlijk evenwicht' wordt gevormd tussen de installatieprijs en de subsidies. Een logisch gevolg hiervan is dat eens de GSC zakken in waarde, natuurlijk evenwicht er zal voor zorgen dat de prijs van de PV – installaties ook zal afnemen. Deze bemerking in beschouwing genomen, is het volgens de heer Engelen realistisch om te werken met een totaalprijs van 2,8€/Wp, hoewel deze prijs mogelijk iets lager zou kunnen liggen in 2012. Wat betreft de regiofactor van de instralingdata, wordt binnen LRM ook gewerkt met 850kWh/kWp, hoewel uit hun ervaring (LRM is ondermeer mede-eigenaar van zonneparken in Heusden – Zolder, Maasmechelen en Beringen) blijkt dat deze vaak hoger ligt (tussen 850 en 900kWh/kWp). Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze ervaring gebaseerd is op zonnepanelenparken, waarbij de panelen onder een hellingshoek van 35° t.o.v. de horizontale werden geplaatst, terwijl voor het project in Tuilt (Hasselt) een hellingshoek van 45° zou

worden gebruikt. Voor bepaling van de vergoeding voor opgewekte stroom geleverd aan het net wijst de heer Engelen erop dat deze vaak mee schommelt met de "ENDEX" ([www.endex.be](http://www.endex.be)), en dat deze vergoeding mogelijk iets hoger zal liggen in 2012, in vergelijking met de vooropgestelde 0,043€/kWh. Verder is de heer Engelen er niet 100% van overtuigd dat de voorwaarden met betrekking tot GSC voor bedrijven zullen evolueren zoals nu vooropgesteld is. Natuurlijk, dit zullen we pas met zekerheid kunnen zeggen eens het zover is. Wat betreft de ecologiepremie merkt de heer Engelen op dat hij daar in zijn eigen businessplannen nooit rekening mee houdt, dit om twee redenen. Ten eerste gaat het om een relatief beperkt bedrag. Ten tweede kan een NV met als enige aandeelhouder de overheid, zoals bijvoorbeeld LRM, geen aanspraak maken op een ecologiepremie. Deze regelgeving geldt echter niet indien er een projectvennootschap (ontwikkelaar van het zonnepanelenpark) wordt opgericht waar het overheidsgerelateerde bedrijf (LRM) maximaal 50% van de aandelen in bezit. Bovendien dient het bedrijf dat de stroom in situ verbruikt minstens één aandeel te nemen in de projectvennootschap. Een laatste opmerking met betrekking tot de CBA betreft de onderhoudskost, die volgens de heer Engelen eerder hoog ingeschat is in de analyse (0,03€/Wp).

Vervolgens zijn we overgestapt naar de vraag hoe het volgens de heer Engelen zou komen dat er tot nu toe nog steeds geen PVNB's terug te vinden zijn in ons land. Hier haalt de heer Engelen de regelgeving aan, die in België toch wel complex kan zijn voor dergelijke projecten (zo denkt hij bijvoorbeeld aan bouwvergunningen, die niet nodig zijn voor installaties op daken maar wel voor grootschalige zonneparken). De belangrijkste reden zou volgens hem de algemene onzekerheid, de onwetendheid zijn die gepaard gaat met het plaatsen van een eventueel scherm "Kan het? Mag het? Onder welke voorwaarden?".

Ook aan de heer Engelen heb ik gevraagd naar zijn persoonlijke mening in verband met de introductie van fotonuïsche geluidsschermen in België. Hij is van mening dat we in Vlaanderen zoveel mogelijk hernieuwbare energieprojecten zouden moeten introduceren. Indien we onze opgelegde doelstellingen willen halen zullen we volgens de heer Engelen moeten inzetten op een mix van verschillende hernieuwbare energiebronnen zoals bijvoorbeeld wind, zon en biomassa. Een pluspunt bij de introductie van PVNB's is dat deze geen extra ruimte opeisen, wat zeker een voordeel is in een dichtbevolkt gebied zoals Vlaanderen. Wel merkt de heer Engelen op dat niet alle aandacht mag uitgaan naar PV, ook windmolens en biomassacentrales kunnen interessante projecten zijn.

Het idee van "solar highways" moet volgens de heer Engelen ook kunnen, tenminste op voorwaarde dat er een business case kan worden opgesteld die aantoont dat dit concept rendabel is. Er worden wel enkele praktische bemerkingen aangehaald, zoals bijvoorbeeld beschaduwingsproblemen en vuil afkomstig

van voorbijrijdend verkeer (fijnstof,...), die een negatieve invloed zouden kunnen hebben op het rendement van de panelen.

Een laatste vraag luidde als volgt: “Denkt u dat LRM eventueel geïnteresseerd zou zijn in het project?”. LRM investeert enkel in projecten waar een sterk businessplan achter zit, waarbij een rendement conform het risico wordt behaald. Echter, het rendement van deze gevalstudie ligt aan de lage kant. Vervolgens heb ik de vraag gesteld hoe het zou kunnen komen dat een investering in een grootschalig park, zoals bijvoorbeeld dat in Heusden – Zolder meer aantrekkelijk is dan een investering in een PVNB. Hier werden twee belangrijke aspecten aangehaald, namelijk de GSC, die op het moment van investering in het zonnepark te Heusden – Zolder nog aan veel gunstigere voorwaarden verkregen konden worden dan in 2012 het geval zal zijn, en de samenwerking met de overheid, die de nodige complicaties met zich zou kunnen meebrengen, waaronder bijvoorbeeld de vergoeding die aan de overheid betaald zou moeten worden als “huur” voor het geluidsscherm.

### 5.3 SWOT – analyse

Het plaatsen van PV – geluidsschermen gaat gepaard met zowel sterktes als zwaktes, verschillende mogelijkheden en bedreigingen. Deze werden uitgebreid besproken doorheen de eindverhandeling. In onderstaande tabel wordt getracht dit weer te geven in een beknopte, overzichtelijke SWOT – analyse.

<b>STRENGTHS</b>	<b>WEAKNESSES</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Dubbel gebruik van geluidsscherm: bescherming tegen geluid + PV – stroom opwekken (zonder aanspraak te maken op extra ruimte) (zie 3.1)</li><li>• Theoretisch potentieel: Meer dan 100 000MWp in Europa Meer dan 2800MWp in België (zie 3.4)</li><li>• Makkelijke toegang indien PV – gedeelte gericht naar snelweg/spoorweg (zie 3.1)</li><li>• Ecologische baten: vermindering van geluidsoverlast + vermeden CO<sub>2</sub> – uitstoot (zie 4.3.1.3 en 4.3.2.2)</li><li>• Verschillende technologieën mogelijk (waaronder bifaciale technologie), geschikt voor snelwegen in allerlei oriëntaties (zie 3.3.1 en 3.3.2)</li><li>• GSC die momenteel nog verkregen worden aan goede voorwaarden voor het opwekken</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kostprijs (hoewel de laatste jaren reeds sterk gedaald)</li><li>• Moeilijke toegang indien PV – gedeelte gericht weg van snelweg/spoorweg (zie 3.1)</li><li>• Daling van de prijs van de GSC in de komende jaren (zie 4.3.1.2)</li><li>• Samenwerking met overheid vereist (bijvoorbeeld onder de vorm van een concessie) (zie voetnoot 3) → zou kunnen leiden tot administratief – juridische complicaties (zie 5.2.3)</li><li>• IRR voor het PV – gedeelte van net geen 7% → mogelijk te laag om investeerders aan te trekken (zie 4.3.3 en 5.2.4)</li></ul>

<p>van groene stroom (zie 4.3.1.2)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Positieve NAW van het PV – gedeelte (zie 4.3.3 en 4.3.4)</li><li>• Grote kans (90,57%) dat ook de investering in het gehele scherm positief is (zie 4.3.3 en 4.3.4)</li></ul>	
<p style="text-align: center;"><b>OPPORTUNITIES</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mogelijkheid tot publiek – private samenwerking (kan zowel een voordelig als een nadelig effect hebben) (zie 3.5.3.4 en 5.2.3)</li><li>• Mogelijkheid tot samenwerking met het ervaren Duitse bedrijf TNC Consulting AG</li><li>• Mogelijke verdere technologische ontwikkeling</li><li>• Mogelijk stijgende energieprijzen die bekomen wordt voor levering aan het net</li></ul>	<p style="text-align: center;"><b>THREATS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Kans dat geen financiering gevonden wordt voor het project<ul style="list-style-type: none"><li>-overheid: te beperkte budgetten</li><li>-bedrijf: te grote onzekerheid</li></ul></li></ul>

## 5.4 Aanbevelingen

Op basis van een jaar lang onderzoek naar het concept van fotovoltaïsche geluidsschermen, zullen in deze paragraaf enkele aanbevelingen geformuleerd worden met betrekking tot de constructie van de allereerste PVNB in ons land. Enkele van deze aanbevelingen zijn gericht op de privésector, andere zullen naar de overheid toe gedaan worden.

### 5.4.1 Aanbevelingen aan de overheid

Fotovoltaïsche geluidsschermen zijn voor het eerst geïntroduceerd in 1989 en zijn reeds terug te vinden in verschillende landen in Europa. In de tussentijd is de PV – technologie sterk geëvolueerd, is de kostprijs van PV drastisch gedaald en heeft men veel ervaring kunnen opdoen met betrekking tot de constructie van PVNB's. Hoewel specialisten oordelen dat de tijd ondertussen rijp is voor het plaatsen van fotovoltaïsche geluidsbarrières in België, is er tot op de dag van vandaag nog steeds geen enkele PVNB terug te vinden in ons land. Dit is naar mijn mening een "spijtig" fenomeen, gezien de vele voordelen die gepaard gaan met PVNB's. Zoals de heer Van Rattinche van studie bureau 3E het geformuleerd heeft, kunnen zowel de overheid, de maatschappij als de private investeerders baat hebben bij de constructie van een fotovoltaïsch geluidsscherm. Immers, de investering in geluidsschermen wordt sowieso uitgevoerd door de overheid, los van enige vorm van PV. De constructie van zo een geluidsmuur zou verder een aanzet kunnen geven aan de privésector om op



hun beurt te investeren in fotovoltaïsche panelen, die gemonteerd kunnen worden op het geluidsscherm. Op die manier zou er dus een “extra” hoeveelheid hernieuwbare energie kunnen worden opgewekt, zonder hiervoor aanspraak te moeten maken op extra ruimte. De private investeerder zou zo een economisch rendabele investering kunnen doen, de omwonenden van het geluidsscherm zouden minder last hebben van het geluid waardoor de gronden en huizen in waarde zouden stijgen en een grote hoeveelheid CO<sub>2</sub> – uitstoot zou vermeden kunnen worden dankzij de opwekking van hernieuwbare energie. Volgens mij is het cruciaal dat de overheid deze voordelen van publiek – private samenwerking, die eigenlijk de ware “kracht” vormen van een PVNB, inziet.

Indien we in België mee de vruchten willen plukken die PVNB's kunnen bieden, is het volgens specialisten noodzakelijk dat de overheid zich flexibeler opstelt. Immers, potentiële investeerders zouden worden afgeschrikt door de strenge, lastige voorwaarden die de overheid oplegt wanneer een bedrijf zich wilt inschrijven voor een publiek – private samenwerking, bijvoorbeeld onder de vorm van een concessie. Bij het opstellen van de voorwaarden waaraan potentiële investeerders moeten voldoen, zou de overheid in het achterhoofd moeten houden dat de baten opgeleverd door het PV – gedeelte niet enkel het investerende bedrijf, maar ook de maatschappij als geheel ten goede komen (onder de vorm van ecologische baten van het opwekken van hernieuwbare energie). Om alle onduidelijkheid en onzekerheid weg te nemen, zou het zeker meerwaarde kunnen bieden indien de overheid de specifieke voorwaarden voor een eventuele publiek private samenwerking met betrekking tot de constructie van een PVNB bekend zou maken.

Verder beweren specialisten dat eens de drempel overwonnen is en een allereerste PVNB geconstrueerd is, er waarschijnlijk verschillende andere fotovoltaïsche geluidsschermen zullen volgen waarvan ook weer de maatschappij in zijn geheel de voordelen van zal ondervinden. De overheid heeft er dus alle baat bij om de samenwerking met potentiële investeerders vlot te laten verlopen.

#### **5.4.2 Aanbevelingen aan de privé sector**

Bedrijven die reeds eerder geïnvesteerd hebben in grootschalige zonneparken hebben reeds een zicht op de winst die gepaard gaat met dergelijke projecten. In het algemeen zijn specialisten van mening dat de CBA opgesteld voor deze gevalstudie realistisch is, hoewel de aannames soms iets te voorzichtig zijn. Er wordt dus verwacht dat de NAW iets hoger, de TVT iets korter en de IRR iets hoger zal zijn. Alleszins biedt de CBA een goed uitgangspunt om een beoordeling van de investering te doen.

Bij het overwegen van de investering dient rekening gehouden te worden met enkele algemene elementen. Eerst en vooral zou het vooral voor lokale bedrijven, die de opgewekte energie zelf

kunnen verbruiken, interessant zijn om de investering in het PV – gedeelte te doen. Immers, zij hoeven dan hun stroom niet meer aan te kopen waardoor de winstgevendheid van het project significant zal toenemen. Verder dient ook in overweging genomen te worden dat het eerste bedrijf dat in België de stap waagt naar de constructie van een PVNB naamsbekendheid en prestige zal verwerven.

Vervolgens zou ik ook enkele specifieke aanbevelingen willen formuleren met betrekking tot een concrete praktijkstudie. Een eerste aanbeveling betreft het ontwerp van de PVNB. Indien mogelijk lijkt het mij een goed idee om de panelen weg te draaien van de autosnelweg. Op die manier heb je geen last van beschaduwing van voorbijrijdend vrachtverkeer, hoef je geen rekening te houden met eventuele weerkaatsing van het geluid, is er minder risico op schade door steenslag of ongevallen en wordt ook minder hinder ondervonden van vuil afkomstig van het wegverkeer. Verder lijkt het ook nuttig om de panelen te monteren zoals voorgesteld in figuur 4.2, namelijk schuin tegen de geluidsschermen (“front mounted”), zodanig dat het geluidsscherm niet extra verstevigd moet worden om de PV – panelen te kunnen dragen.

Een volgende aanbeveling betreft de financiële overwegingen. Op dit moment zijn de groene stroomcertificaten de grootste inkomstenbron van PV – installaties. In dat opzicht zou de investering in het PV – gedeelte best zo snel mogelijk gedaan worden, gezien de verkregen vergoeding voor GSC de komende jaren systematisch zal worden afgebouwd (zie Tabel 4. 1). Verder lijkt het noodzakelijk om de PV – panelen te verzekeren tegen zowel vandalisme, verkeersongevallen als extreme weersomstandigheden.

Indien meer zekerheid verkregen zou willen worden in verband met de voorwaarden opgelegd voor privaat – publieke samenwerking met betrekking tot een eerste PVNB, verwijst geluidsspecialist Peter Stulens naar administrateur – generaal Tom Roelands.

Tenslotte denk ik dat het interessant zou kunnen zijn om samen te werken met ervaren actoren op gebied van PVNB's, zoals bijvoorbeeld het Duitse bedrijf Consulting AG. Zij zijn sinds 1989 betrokken bij de constructie van fotovoltaïsche geluidsbarrières doorheen heel Europa. Ik heb in het verloop van mijn thesis regelmatig contact gehad (zowel per mail als per telefoon) met de heer Thomas Vontobel van TNC (vontobel@tnc.ch, +41 44 991 5577). Hij laat weten dat TNC bereid is om ook te helpen bij de constructie van een PVNB in België, vanzelfsprekend hangt hier wel een prijskaartje aan vast.

# Lijst van geraadpleegde werken

## 6.1 Referenties hoofdstuk 1

- [1.1] VITO, 2009, Energiebalans Vlaanderen 2006
- [1.2] VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ, 2007, Milieurapport Vlaanderen MIRA
- [1.3] D'HAESELEER, W., 2005, *Energie vandaag en morgen*, Acco, Leuven, 292 p.
- [1.4] BEURKENS, J., VAN KUIK, G., 2001, Alles in de wind
- [1.5] DI NORCIA, V., 2008, Global warming is man – made
- [1.6] Richtlijn 2001/77/EG
- [1.7] SLINGERLAND, S., VAN GEUNS, L., VAN DER LINDE, C., Van Zwarte naar groene energie, *Internationale Spectator*, jaargang 62, nummer 5, p. 259-263
- [1.8] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2008, Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable resources
- [1.9] NORDMANN, T., CLAVADETSCHER, L., 2004, PV on noise barriers, *Progress in Photovoltaics*, Volume 12, Issue 6, p. 485-495
- [1.10] ARUNACHALAM, V. S., FLEISCHER, E. L., 2008, The Global Energy Landscape and Materials Innovation, *MRS Bulletin*, Volume 33, p. 264 – 274
- [1.11] GINLEY, D., GREEN, M., COLLINS., R., 2008, Solar Energy Conversion Toward 1 Terawatt, *MRS Bulletin*, Volume 33, p. 365 – 372
- [1.12] <http://www.solaraccess.be/zonneenergie/pv-systeem.html>
- [1.13] JOHNSON,G., Plugging Into The Sun, *National Geographic*, September 2009, p.28 - 53
- [1.14] <http://www.pvresources.com>
- [1.15] LEWIS, N., 2007, Powering The Planet, *MRS Bulletin*, Volume 32, p. 808 – 820
- [1.16] VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ, 2008, Elektriciteitsproductie uit hernieuwbare energiebronnen (groene stroom)

## 6.2 Referenties hoofdstuk 2

- [II.1] NOELS, G., 2008, *Econoshock*, Houtekiet, Antwerpen, 380 p.
- [II.2] D'HAESELEER, W., 2005, *Energie vandaag en morgen*, Acco, Leuven, 292 p.
- [II.3] JOHNSON, G., 2009, Plugging Into The Sun, *National Geographic*, p.28 – 51
- [II.4] LEWIS, N., 2007, Powering The Planet, *MRS Bulletin*, Volume 32, p. 808 – 820
- [II.5] ARUNACHALAM, V.S., FLEISCHER, E.L., 2008, The Global Energy Landscape and Materials Innovation, *MRS Bulletin*, Volume 33, p. 264 – 276
- [II.6] FTHENAKIS, V.M., KIM, H.C., 2006, Quantifying the Life – Cycle Environmental Profile of PV and Comparisons With Other Electricity – Generating Technologies
- [II.7] KHAN, M.R., MERFELD, D.W., PEARSALL, T.P., GEYER, M., DAUSKARDT, R.H., 2008, Innovations In Solar Power, *Advanced Materials & Processes*, Volume 166, issue 11, p. 45 – 48
- [II.8] JONES, C., 2007, EU Renewables Ambitions Are Unrealistic, *Modern Power Systems*, p. 5
- [II.9] SCHIMMOLLER, B.K., 2004, Renewables: Get Into The Mix, *Power Engineering*, p. 22 – 30
- [II.10] MEIER, P.J., 2002, Life – Cycle Assessment Of Electricity Generation Systems And Applications for Climate Change Policy Analysis
- [II.11] ROTMAN, D., 2009, Chasing The Sun, *Feature Story*, p. 44 – 51
- [II.12] CASS, S., 2009, Solar Power Will Make a Difference – Eventually
- [II.13] BARDI, U., 2009, Peak Oil: The Four Stages Of a New Idea, *Energy*, Volume 34, issue 3, p. 323 – 326
- [II.14] CARROLL, C., 2009, Can solar save us?, *National Geographic*, p.52 – 53
- [II.15] VAN DEN BERG, R., 2003, Pasta met power, *De Ingenieur*, Nummer 8, p. 20-27
- [II.16] <https://static.seekingalpha.com>
- [II.17] Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek, 2004, Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen?
- [II.18] Organisatie voor duurzame energie, 2009, grootste zonnecentrale van de Benelux in Heusden - Zolder

[II.19] <http://www.duurzameenergiethuis.nl/energie/zonne-energie/>

[II.20] <http://www.duurzameenergiethuis.nl/energie>

[II.21] GOETZBERGER, A., 1999, Evaluation of the potential of PV noise barrier technology for electricity production and market share, Final Report Volume 1

### 6.3 Referenties hoofdstuk 3

[III.1] NORDMANN, T., CLAVADETSCHER, L., 2004, PV on noise barriers, *Progress in Photovoltaics*, Volume 12, Issue 6, p. 485-495

[III.2] GROTTKE, M., SUKER, T., EYRAS., R., GOBERNA, J., PERPINAN, O., VOIGT, A., THIEL, A., SPENDEL, M., GEHRLICHER, K., FRISEN, G., GAMBI. R., KELLNER, K., z.d., PV Soundless – World Record “Along The Highway”- a PV Sound Barrier With 500 kWp and Ceramic Bades PV Modules

[III.3] 2000, The potential of PV noise barrier technology in Europe, Paper Presented at the 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 1 – 5 May 2000, Glasgow, United Kingdom

[III.4] <http://www.pvresources.com/en/noise.php>

[III.5] GOETZBERGER, A., 1999, Evaluation of the potential of PV noise barrier technology for electricity production and market share, Final Report Volume 1

[III.6] <http://www.tnc.ch/energysystems/pvsoundbarrier.en.php>

[III.6b] <http://www.tnc.ch/energysystems/bifacial.en.php>

[III.7] VAN DER BORG, N, JANSEN, M., 2001, Photovoltaic noise barrier at the A9 – highway in the Netherlands

[III.8] Van Dale Groot Woordenboek hedendaags Nederlands

[III.9] SNOW, M., PRASAD, D., 2005, Designing with solar power, The Images Publishing Group Pty.Ltd. and Earthscan, Londen, 252 p.

[III.10] Photovoltaic solar energy best practice stories, 2000, Europese Commissie

[III.11] <http://www.lne.be/themas/hinder-en-risicos/geluidshinder/regelgeving>

[III.12] <http://www.mobielvlaanderen.be/convenants/module.php?nav=5&id=5>

[III.13] Interview met Peter Stulens, adjunct van de directeur – werfleider, Agentschap Wegen en Verkeer (Hasselt)

[III.14] <http://www.ejustice.just.fgov.be>, Wet van 18 juli 1973 betreffende de bestrijding van de geluidshinder

[III.15] <http://jsp.vlaamsparlement.be/docs/bva/atomisering/ato1997-1998/nr11/baldewijns/205.pdf>

[III.16] [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eeg\\_2009\\_en.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eeg_2009_en.pdf)

[III.17] <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=9918>

[III.18] GOFFINET, D., WINNENINCKX, E., REDANT, K., 2006, CE – markering voor geluidsschermen: een handleiding

[III.19] <http://www.atg.be/media/docs/local/IPM157.doc>

[III.20] Interview met mevrouw Vanhooreweder (Agentschap Wegen en Verkeer), gebaseerd op document “Geluidsnormen in Vlaanderen”

[III.21] VANHOOREWEDER, B., 2006, Geluidsschermen voor wegen: Europese normalisatie en CE – markering

[III.22] Victoria Transport Policy Institute, 2009, Transportation Cost and Benefit Analysis II – noise costs

[III.23] <http://wegen.vlaanderen.be/verkeer/geluid/geluidsdruk.php>

[III.24] DE VOS, P., 2005, Achtergronden  $L_{den}$  en  $L_{night}$

[III.25] <http://www.mobilit.fgov.be/nl/indexReframed.htm?newURL=%2FNI%2Fmobil%2Fmobil.htm>

[III.26] <http://wegen.vlaanderen.be/verkeer/geluid/schermen.php>

[III.27] Interview met mevrouw Vanhooreweder (Agentschap Wegen en Verkeer), op basis van document “Geluidswerende schermen”

[III.28] <http://www.wegen.vlaanderen.be/documenten/geluidskaarten/>

[III.29] Telefonisch interview met de heer Vontobel, ingenieur binnen het Duitse bedrijf TNC Consulting AG

[III.30] Interview met Marten Boerema, adjunct-directeur projectontwikkeling bij het Nederlandse bedrijf Van Wijnen Projectontwikkeling Midden

[III.31] Interview met mevrouw Barbara Vanhooreweder, specialiste geluidsschermen, Afdeling Wegenbouwkunde, Agentschap Wegen en Verkeer, Beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken Vlaamse Overheid (Brussel)

[III.32] Interview met Stephane Peeters, adjunct van de directeur, Agentschap Wegen en Verkeer (Antwerpen)

[III.33] Interview met Peter Stulens, adjunct van de directeur – werfleider, Agentschap Wegen en Verkeer (Hasselt)

[III.34] Telefonisch interview met Wim Stroetenga, solar operator bij Nuon Nederland, op basis van het niet – gepubliceerde interne rapport “Evaluatierapportage PV – geluidsscherm A9”

[III.35] Interview met Tom Martens, zaakvoerder van Verisol (PV – specialist)

[III.36] [http://www.g-o.be/sites/portaal\\_nieuw/OverGO/Infrastructuur/PubliekPrivateSamenwerking/Algemeneinfo/Documents/PPS-decreet.pdf](http://www.g-o.be/sites/portaal_nieuw/OverGO/Infrastructuur/PubliekPrivateSamenwerking/Algemeneinfo/Documents/PPS-decreet.pdf)

[III.37] Tabel van Hespul, afkomstig van PV – specialist dr. Tom Martens

## **6.4 Referenties hoofdstuk 4**

[IV.1] [maps.google.be](http://maps.google.be)

[IV.2] Interview met mevrouw Barbara Vanhooreweder, specialiste geluidsschermen, Afdeling Wegenbouwkunde, Agentschap Wegen en Verkeer, Beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken Vlaamse Overheid (Brussel)

[IV.3] Interview met Stephane Peeters, adjunct van de directeur, Agentschap Wegen en Verkeer (Antwerpen)

[IV.4] Interview met Peter Stulens, adjunct van de directeur – werfleider, Agentschap Wegen en Verkeer (Hasselt)

[IV.5] Niet gepubliceerd document: LANOYE, L., VAN GINDERACHTER, J., VAN DAMME, M., DRAECK, M., 2001, Eindrapport fotovoltaïsche zonne – energie op geluidsschermen

- [IV.6] Niet gepubliceerd document: LANOYE, L., DRAECK, M. et al, 2001, verslag adviesgroepvergadering
- [IV.7] NORDMANN, T., CLAVADETSCHER, L., 2004, PV on noise barriers, *Progress in Photovoltaics*, Volume 12, Issue 6, p. 485-495
- [IV.8] <http://jsp.vlaamsparlament.be/docs/bva/atomisering/ato1997-1998/nr14/baldewijns/333.pdf>
- [IV.9] <http://www.zonnepanelenonline.be/levensduur.php>
- [IV.10] <http://www.zonnepanelenbelgie.be/Groenestroomcertificaten.html>
- [IV.11] [http://www.vreg.be/nl/04\\_privé/03\\_groenestroom/03\\_productie/01\\_steun.asp](http://www.vreg.be/nl/04_privé/03_groenestroom/03_productie/01_steun.asp)
- [IV.12] Interview met de heer Eddy Poncelet, Luminus
- [IV.13] [www.vlaanderen.be/ecologiepremie](http://www.vlaanderen.be/ecologiepremie)
- [IV.14] DEN BOER, L., SCHROTEN, A., 2007, Traffic noise reduction in Europe
- [IV.15] TRANSPORT POLICY INSTITUTE, 2009, Noise
- [IV.16] KIM, K.S., PARK, S.J., KWEON, Y., 2007, Highway traffic noise effects on land price in an urban area
- [IV.17] NAVRUD, S., z.d., The economic value of noise within the EU – a review and analysis of studies
- [IV.18] NIJLAND, H.A. et al, 2002, Cost and benefits of noise abatement measures
- [IV.19] BOARDMAN, A., GREENBERG D., VINING, A., & WEIMER, D., 2006, Cost-benefit analysis: Concepts and practice
- [IV.20] JABBEN, J., POTMA, C., LUTTER, S., 2007, Baten van geluidmaatregelen
- [IV.21] BATEMAN, I. et al, 2001, The effect of road traffic on residential property values: a literature review and hedonic pricing study
- [IV.22] Interview met Tom Martens (PV – specialist), zaakvoerder van Verisol
- [IV.23] [www.energiesparen.be](http://www.energiesparen.be), document: Verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende maatregelen



[IV.24] [http://publicaties.vlaanderen.be/docfolder/5104/Vlaams\\_Klimaatbeleidsplan\\_2006\\_2012.pdf](http://publicaties.vlaanderen.be/docfolder/5104/Vlaams_Klimaatbeleidsplan_2006_2012.pdf)

[IV.25] <http://www.lne.be/themas/klimaatverandering/co2-emissiehandel/overkoepelend/marktprijs/marktprijs-co2-emissierecht>

[IV.26] MERCKEN, R., 2004, *De investeringsbeslissing*, Garant, Antwerpen, 350 p.

[IV.27] Crystal Ball 7.3, User Manual

# Bijlagen

## 7.1 Bijlage 1: beïnvloedende factoren op de mate van afzwakking van het geluid door een geluidsschermb

Hieronder worden een aantal factoren besproken die een invloed hebben op de mate waarin het geluid wordt afgeschermd door een geluidsschermb.

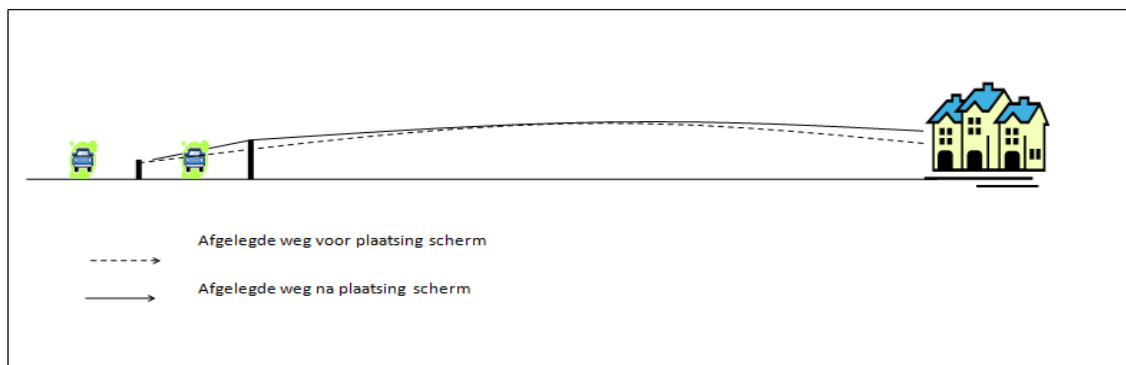
- **Lengte van de omweg**

In het algemeen kunnen we stellen dat het geluid wordt afgezwakt doordat het een langere weg dient af te leggen (over of naast het scherm heen). De mate waarin het geluid wordt afgezwakt wordt dus onder andere bepaald door de lengte van de omweg die het geluid moet maken om tot bij de ontvanger te komen.

- **Ligging van de woningen**

Zoals net gezegd, zal de reductie van geluid toenemen naarmate de omweg die het geluid dient af te leggen groter wordt. Voor woningen die gelegen zijn vlakbij het geluidsschermb (zie Figuur 3. 22 Werking van een geluidsschermb (voor een ontvanger op korte afstand) (wegen.vlaanderen.be)), is deze omweg groter dan voor woningen verder van het scherm (zie figuur B1.1). We kunnen dus stellen dat de werking van een geluidsschermb minder effectief wordt op grotere afstand van het scherm.

**Figuur B1. 1** Werking geluidsschermb voor ontvanger op grote afstand (wegen.vlaanderen.be)



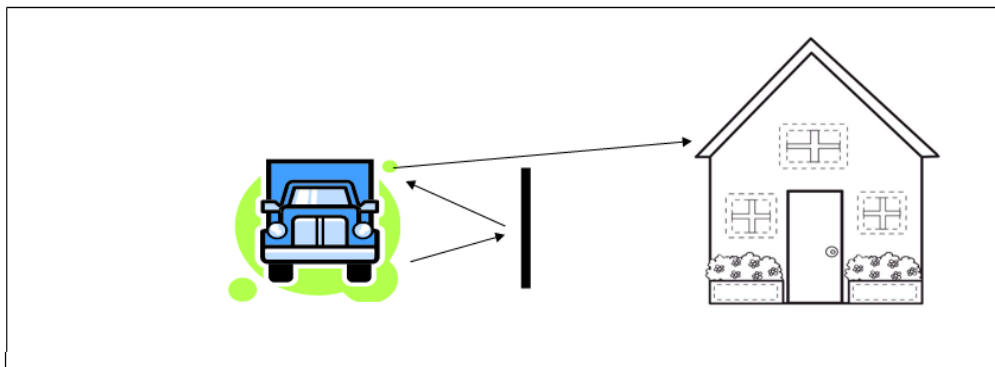
- **Lengte van het scherm**

Zoals reeds eerder vermeld kunnen geluidsgolven langs de randen van het scherm heen aan de overzijde van het scherm geraken. Indien een scherm onvoldoende lang is, is de omweg die het geluid dient te maken langs het scherm erg klein, waardoor het effect van het geluidsschermb miniem zal zijn.

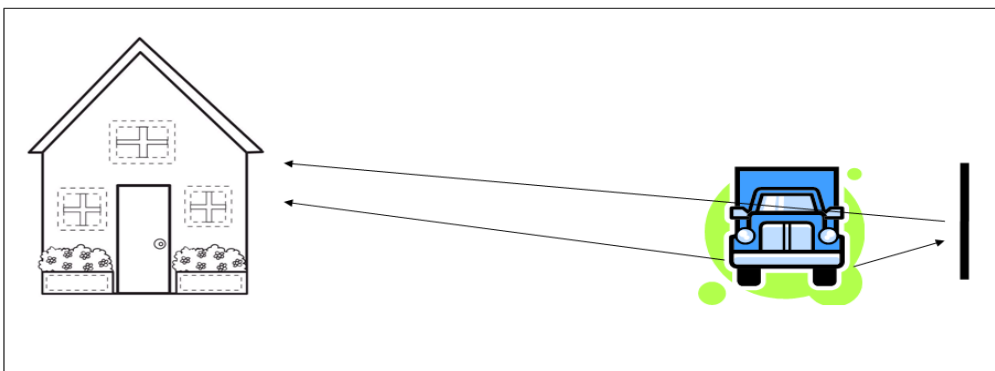
- **Geluidsabsorptie van het scherm**

Bij de plaatsing van een geluidsscherm doen zich 2 problemen voor. Enerzijds is er de weerkaatsing (reflectie) van geluidsgolven tussen het scherm zelf en voorbijrijdende vrachtwagens. Hierdoor zou het geluid zich na enkele reflecties toch nog over het geluidsscherm kunnen begeven (zie figuur B1.2), wat er toe zou leiden dat het geluidsniveau achter het scherm wordt verhoogd. Anderzijds wordt zowel het directe geluid als het gereflecteerde geluid tussen scherm en vrachtwagen weerkaatst naar de woningen aan de overzijde van het scherm (zie figuur B1.3).

**Figuur B1. 2** Reflectie tussen scherm en voorbijrijdende vrachtwagens (Interview Vanhooreweder)



**Figuur B1. 3** Reflectie tussen scherm en overstaande woning (Interview Vanhooreweder)



Om deze problemen te voorkomen, moet het geluidsscherm voldoende geluidsabsorberend zijn. In het algemeen kunnen we stellen dat hoe groter de geluidsabsorptie van de wand, hoe minder de reflectie van het geluid tussen scherm en vrachtwagens enerzijds en naar overstaande woningen anderzijds.

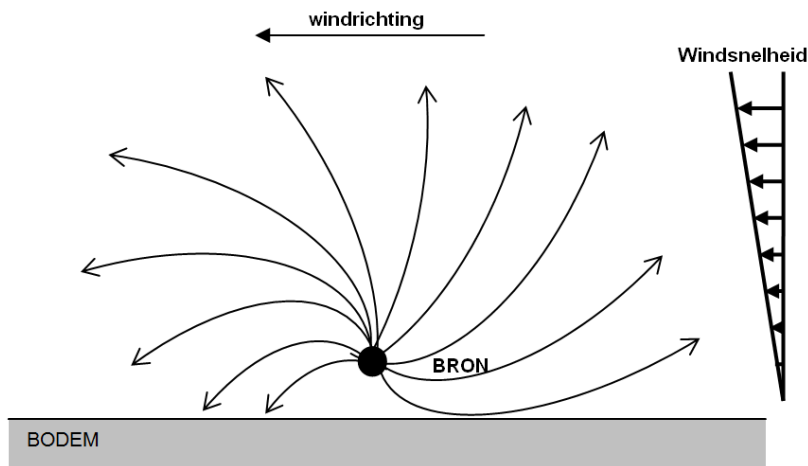
- **Geluidsisolatie**

In principe kunnen geluidsgolven zich doorheen het scherm bewegen. Echter, een scherm dat voldoende geïsoleerd is zal ervoor zorgen dat geluidsgolven die zich rechtstreeks door het scherm voortplanten zeer sterk worden afgezwakt.

- **Wind**

De mate waarin geluidsgolven zich voorplanten wordt beïnvloed door de windsnelheid en de windrichting (zie figuur B1.4). Toenemende windsnelheid zorgt ervoor dat de voortplantingsrichting van de geluidsgolf afgebogen wordt. Hierdoor ontstaat in geval van meewind een gebied met een verhoogd geluidsniveau; bij tegenwind ontstaat een schaduwzone met een lager geluidsniveau.

Figuur B1. 4 Ontstaan van schaduwzone en zone verhoogd geluidsniveau door invloed van wind (wegen.vlaanderen.be)



- **Frequentie van het geluid**

Ook de frequentie van het geluid heeft een invloed op de mate van afzwakking van het geluid door een geluidsscherm. Het is namelijk zo dat geluid met een lage frequentie zich, dankzij hun grote golflengte, makkelijker over een scherm heen buigen dan hoogfrequente geluiden. Dit betekent dat een geluidsscherm minder effectief zal werken wanneer het geplaatst wordt langs een baan waar veel vrachtwagens op rijden; immers vrachtwagens veroorzaken een meer laagfrequent geluid dan personenwagens<sup>[B1.1, B1.2, B1.3]</sup>.

## Referenties

<sup>[B1.1]</sup> Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, 2009, Ontwerp Actieplan Wegverkeerslawaaai

<sup>[B1.2]</sup> <http://wegen.vlaanderen.be/verkeer/geluid/schermen.php>

<sup>[B1.3]</sup> Interview met mevrouw Vanhooreweder (Agentschap Wegen en Verkeer), op basis van document "Geluidswerende schermen"

## 7.2 Bijlage 2: Mobiliteitsconvenant (1996)

Samen met de introductie van het principe van duurzame ontwikkeling (gelanceerd op de conferentie van Rio in 1992) groeide ook de gedachte van een duurzaam mobiliteitsbeleid. Dit heeft geleid tot een voorstel voor een geïntegreerd stedelijk mobiliteitsbeleid via convenants. Zo kwam in 1996 het mobiliteitsconvenant tot stand. Dit document zou op vele plaatsen moeten leiden tot een integrale aanpak van mobiliteitsproblemen. Hierbij is het bedoeling dat gemeentes, steden, gewesten en provincies hun plannen en maatregelen omtrent mobiliteit op elkaar afstemmen om zo een samenhangend beleid te kunnen voeren<sup>[B2.1]</sup>.

Het decreet van 20 april 2001 betreffende de mobiliteitsconvenants en het decreet van 20 maart 2009 betreffende het mobiliteitsbeleid hebben deze aanpak bekrachtigd. In het eerstgenoemde decreet wordt bepaald dat het om een gewestelijke aangelegenheid gaat (artikel 1). Het decreet erkent verder dat de Vlaamse overheid, de lokale overheid, de Vlaamse Vervoermaatschappij en in voorkomend geval ook de provinciale overheid en eventuele derden een lokaal mobiliteitsconvenant kunnen sluiten en hierdoor ook gebonden worden (artikel 3). Het decreet van 2009 legt vervolgens de nadruk op *duurzame* mobiliteitsontwikkeling<sup>[B2.2]</sup>.

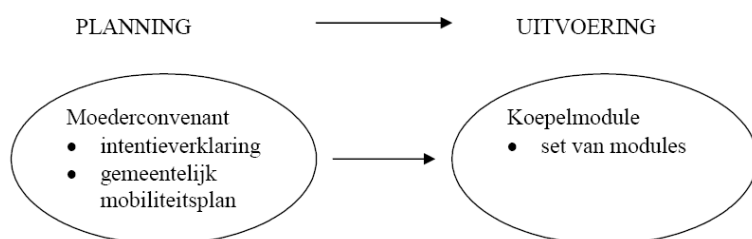
Een convenant is een (vrijwillige) overeenkomst tussen de betrokken partners (voornamelijk maar niet exclusief openbare besturen), die gesloten wordt om een vooraf omschreven resultaat te bereiken. “Het mobiliteitsconvenant bestaat uit een moederconvenant met daarnaast een of meerdere modules, die steeds onder een koepelmodule worden gevat.”<sup>[B2.2]</sup> Deze omschrijving verdient enige verduidelijking.

De “betrokken partners” van het mobiliteitsconvenant zijn de Vlaamse overheid, gemeentelijke overheden, in voorkomend geval de provincies, de Lijn en eventuele derden (zoals bijvoorbeeld scholen, bedrijven, organisaties,...) die het convenant onderschrijven<sup>[B2.2]</sup>.

Vervolgens trachten we duidelijkheid te brengen in de verhouding “moederconvenant – gemeentelijk mobiliteitsplan – koepelmodule - modules” (zie ook figuur B2.1). In een *moederconvenant* worden de algemene afspraken vastgelegd. Het is een intentieverklaring van de ondertekenende partners om samen te werken rond de mobiliteitsproblematiek van een gemeente. Om dat verder concreet uit te werken, engageert de gemeente zich om een *gemeentelijk mobiliteitsplan* uit te werken. Uiteraard gebeurt dat in samenspraak met de partners. Belangrijk is dat de visie van de partners gericht is op de uitbouw van een duurzame mobiliteit binnen de gemeente. Vanuit deze visie kunnen acties en projecten worden gerealiseerd via *modules*. Indien een gemeente een project wil realiseren dat kadert binnen de visie zoals neergeschreven in het gemeentelijk mobiliteitsplan, kan ze hiervoor een

koepelmodule afsluiten waaronder de modules worden gevat die dit project ondersteunen. In de koepelmodule worden specifieke afspraken vastgelegd over de realisatie van projecten. Ieder project bestaat dus uit één koepelmodule met enkele algemene bepalingen en een of meerdere modules<sup>[B2.2, B2.3]</sup>.

**Figuur B2. 1** De verhouding moederconvenant - gemeentelijk mobiliteitsplan - koepelmodule – modules (Beleidsnota 2004-2009)



Momenteel bestaan er 19 verschillende modules. Eén module hiervan, namelijk module 5 “Schermen en/of gronddammen langs een gewestweg, die het wegverkeerslawaaï verminderen”, heeft betrekking op geluidsschermen. Met deze module verbinden de partijen zich ertoe om schermen te bouwen langs gewestwegen, om de geluidshinder afkomstig van het wegverkeer te verminderen en zo de verkeersleefbaarheid te verhogen, waar en in de mate dat het wegverkeerslawaaï onvoldoende kan worden verminderd door een stille wegverharding en/of een snelheidsbeperking<sup>[B2.1]</sup>. Het essentiële onderwerp van deze module betreft de verbintenissen van het gewest en de lokale overheid of met andere woorden de financiering van het geluidsscherm. Het gewest zorgt voor de bouw en het onderhoud van de lawaaiwerende schermen. Als het geluidsniveau  $LA_{eq,day}$  80dB(A) bereikt of overschrijdt, betaalt het gewest 100%. Indien een geluidsniveau wordt vastgesteld tussen de 65 en 80dB(A) betalen de lokale overheid en het gewest elk een specifiek berekend deel van de bouwkosten. De bijdrage van de lokale overheid is kleiner in de onmiddellijke omgeving van een ziekenhuis en ook op plaatsen waar meer dan de helft van de woningen die zich bevinden in een strook van 250 m vanaf de rand van de rijbaan, gebouwd werd voor de openstelling van de gewestweg (artikel 1). Voor de volledige uitleg omtrent verbintenissen vanwege het gewest en lokale overheid verwijzen we naar artikels 2 en 3 van deze module (zie bijlage 7.3)<sup>[B2.1]<sup>15</sup></sup>.

<sup>15</sup> Verdere informatie omtrent de evaluatie, sancties en duur van de module is ook terug te vinden in deze module, opgenomen in Bijlage 3: Mobiliteitsconvenant module 5: schermen en/of gronddammen langs een gewestweg, die het wegverkeerslawaaï verminderen

## Referenties

<sup>[B2.1]</sup><http://www.mobielvlaanderen.be/convenants/module.php?nav=5&id=5>

<sup>[B2.2]</sup><http://www.mobielvlaanderen.be/convenants/inleiding.php?nav=2>

<sup>[B2.3]</sup><http://www.ond.vlaanderen.be/zorgvuldigbestuur/pdf/Beleidsnota2004-2009Mobiliteit.pdf>

### **7.3 Bijlage 3: Mobiliteitsconvenant module 5: schermen en/of gronddammen langs een gewestweg, die het wegverkeerslawaaï verminderen**

#### **ARTIKEL 1. VOORWERP VAN DEZE OVEREENKOMST**

##### **§1. Doelstelling en krachtlijnen.**

Met deze module verbinden de partijen zich ertoe schermen en/of gronddammen te bouwen langs gewestwegen, om de geluidshinder afkomstig van het wegverkeer te verminderen en zo de verkeersleefbaarheid te verhogen, waar en in de mate dat het wegverkeerslawaaï onvoldoende kan worden verminderd door een stille wegverharding en/of een snelheidsbeperking.

Het gewest zorgt voor de bouw en het onderhoud van de lawaaiwerende schermen en/of gronddammen. Als het geluidsniveau  $L_{Aeq}$  80 dB(A) bereikt of overstijgt, betaalt het gewest 100% (Zie art. 2 voor alle verbintenissen van het gewest.)

De lokale overheid en/of het gewest betalen een specifiek berekend deel van de bouwkosten als een geluidsniveau  $L_{Aeq} \geq 65$  dB(A) maar  $< 80$  dB(A) wordt vastgesteld.

De bijdrage van de lokale overheid is kleiner:

- in de onmiddellijke omgeving van een ziekenhuis;
- op plaatsen waar meer dan de helft van de woningen die zich bevinden in een strook van 250 m vanaf de rand van de rijbaan, gebouwd werd vóór de openstelling van de gewestweg.

(Zie art. 3 voor alle verbintenissen van de lokale overheid).

##### **§2. Procedure voorafgaand aan het afsluiten van deze module.**

Het gewest stelt een projectnota op over het project (zie art. 2, §4). Over die projectnota moet binnen de gemeentelijke begeleidingscommissie (GBC) naar een consensus gestreefd worden. Vervolgens moet ze door de provinciale auditcommissie (PAC) conform verklaard worden met het gemeentelijk mobiliteitsplan, het Vlaams mobiliteitsbeleid en de Europese en Vlaamse richtlijnen inzake beheersing van het wegverkeerslawaaï.

De samenstelling van de GBC en de PAC wordt uitgebreid met minstens 1 specialist in de akoestiek, afgevaardigd door de Afdeling Wegenbouwkunde van het Agentschap Wegen en Verkeer.

Pas als die projectnota door de PAC conform verklaard is, kan de module ondertekend worden.

De projectnota en de conformverklaring wordt als bijlage bij deze module gevoegd.

#### **ARTIKEL 2. VERBINTENISSEN VANWEGE HET GEWEST**

##### **§1. Afbakening van de projectzone.**

Het gewest zorgt voor en betaalt de kosten (uitgezonderd de kosten zoals bepaald in art. 3, §1, 3° of 4°) voor de bouw van lawaaiwerende schermen / gronddammen(\*) langs de gewestweg N ..... tussen kilometerpunt ..... en kilometerpunt .....

##### **§2. Budgetteren.**

Het gewest budgetteert een bedrag in hetzij het goedgekeurde, lopende indicatieve driejarenprogramma, hetzij in het investeringsprogramma van het lopende jaar, voor de bouw van de lawaaiwerende schermen en/of gronddammen bepaald in art. 2, §1.

##### **§3. Procedures starten.**

Het gewest start binnen de 60 dagen na de ondertekening van de koepelmodule de procedures (aanbestedings-, eventueel onteigeningsprocedures) die noodzakelijk zijn voor de uitvoering van het in art. 2, §1 bedoelde project. Een afschrift van de opdracht tot aanvang van de procedures wordt naar de overige partij gestuurd.



#### §4. Projectnota.

Het gewest staat in voor het opstellen van de projectnota en de toelichting van de nota voor de PAC.

De **projectnota** omvat minstens:

- 1° probleemstelling;
- 2° doelstellingen;
- 3° akoestische, ruimtelijke, stedenbouwkundige en verkeerskundige analyse; Deze analyse omvat minstens:
  - een rapport met representatieve geluidsmetingen of een terzake dienend uittreksel uit de strategische geluidsbelastingkaart(en);
  - een inventaris van de woningen met vermelding van het totaal aantal woningen dat blootgesteld is aan wegverkeerslawaai  $L_{Aeq} \geq 65\text{dB(A)}$ ;
  - een inventaris van de woningen gelegen binnen een strook van 250 m vanaf de rechterraand van de rijbaan met vermelding of ze gebouwd werden voor of na de openstelling van de gewestweg. Het totaal van iedere categorie wordt vermeld.
  - het akoestisch actieplan, voor zover het beschikbaar is.
- 4° randvoorwaarden;
- 5° visie van de partners en actoren;
- 6° mogelijke oplossingsrichtingen met hun effecten;
- 7° afweging en keuze van de oplossing;
- 8° verdere procedure;
- 9° kostenraming per partij (zie art. 3, §1);
- 10° verslag(en) van de GBC.

#### §5. Ontwerp.

Het gewest zorgt voor het volledig ontwerp. Het stemt het ontwerp in de allereerste plaats af op de akoestische behoeften van de buurtbewoners. In tweede orde streeft het gewest een maximale visuele integratie na van de lawaaiwerende schermen en/of gronddammen in hun natuurlijke of verstedelijkte omgeving. Bij voorkeur worden duurzame en milieuvriendelijke materialen gebruikt.

#### §6. Onteigeningen.

Voor zover er onteigeningen nodig zijn, zorgt het gewest voor de samenstelling van het onteigeningsdossier, stelt het ministerieel besluit op voor de onteigeningen en betaalt de onteigenden en de andere rechthebbenden (pachters, huurders, ...).

#### §7. Verplaatsen van leidingen en installaties.

Voor zover er leidingen of installaties verplaatst moeten worden, geeft het gewest daartoe het bevel aan de vergunninghoudende nutsmaatschappijen.

De bij wet of decreet geregelde subsidies aan bepaalde vergunninghouders worden door het gewest uitbetaald.

#### §8. Onderhoud.

Het gewest zorgt voor het net houden en het onderhoud (of in geval van beschadiging voor de vervanging) van de lawaaiwerende schermen, bepaald in art. 2, §1.

Het gewest onderhoudt het groen op de (in art. 2, §1 bepaalde) gronddammen buiten de bebouwde kom.

### **ARTIKEL 3. VERBINTENISSEN VANWEGE DE LOKALE OVERHEID**

#### §1. Bepaling van de bijdrage van de lokale overheid in de bouwkosten.

De lokale overheid betaalt voor de in art. 2, §1 genoemde lawaaiwerende schermen en/of gronddammen een financiële bijdrage die als volgt bepaald wordt.

Als het maximaal gemeten geluidsniveau (gevelbelasting)  $L_{Aeq,r}$  veroorzaakt door het wegverkeer:

- 1° **minstens 80 dB(A)** bedraagt ter hoogte van de woning met de meeste geluidshinder, betaalt de lokale overheid **0%** van de bouwkosten;
- 2° **minstens 65 dB(A)** bedraagt ter hoogte van een ziekenhuis, betaalt de lokale overheid

**0%** van de bouwkosten;

- 3° **minstens 65 dB(A)** bedraagt, maar **kleiner is dan 80 dB(A)**, betaalt de lokale overheid een procentuele bijdrage (B), die wordt berekend volgens de volgende formule:  
 $B = -5 L_{Aeq} + 400$  (af te ronden op de eenheid).

De procentuele tegemoetkoming wordt evenwel verminderd met 10 % als meer dan de helft van de woningen die zich bevinden in een strook van 250 m vanaf de rand van de rijbaan, gebouwd werd vóór de openstelling van de gewestweg.

De procentuele tussenkomst die op deze wijze bepaald wordt, bedraagt ..... % - ..... % = .....

- 4° **minder dan 65 dB(A)** bedraagt of als de maatregelen ter bestrijding van geluidshinder onvoldoende verantwoord kunnen worden:  
**100%** van de bouwkosten.

## §2. Financieringsplan.

In geval de lokale overheid een bijdrage moet betalen volgens art. 3, §1, 3° of 4°) neemt de lokale overheid budgettaire maatregelen opdat het project op korte termijn wordt gerealiseerd en wordt een financieringsplan als bindende overeenkomst als bijlage aan de module toegevoegd.

## §3. Stedenbouwkundige maatregelen.

Binnen het kader van haar bevoegdheid treft de lokale overheid de passende stedenbouwkundige maatregelen met betrekking tot het wegverkeerslawaai om het doel van deze module (art. 1, §1) te ondersteunen. De lokale overheid treft geen stedenbouwkundige maatregelen die afbreuk zouden doen aan het doel van deze module of die het wegverkeerslawaai naar andere, nieuw te ontwikkelen woonlocaties op haar grondgebied kunnen verplaatsen.

Met stedenbouwkundige maatregelen worden bedoeld:

- adviezen over gewestelijke en provinciale ruimtelijke plannen;
- het vaststellen van gemeentelijke ruimtelijke plannen;
- het opmaken van gemeentelijke stedenbouwkundige verordeningen;
- het afleveren van de vergunningen zoals bedoeld onder titel III van het decreet van 18 mei 1999 houdende organisatie van de ruimtelijke ordening.

De ondersteunende stedenbouwkundige maatregelen worden getroffen door de gemeenteraad en/of het college van burgemeester en schepenen in uitvoering van het hierboven genoemde decreet houdende organisatie van de ruimtelijke ordening.

Minstens vaardigt de lokale overheid een gemeentelijke stedenbouwkundige verordening uit die geluidsisolerende maatregelen oplegt zowel bij nieuwbouw als verbouwing van bestaande woningen, gelegen in stroken met een breedte van 250 m aan weerszijden van de gewestwegen (op haar grondgebied) waar wegverkeerslawaai  $L_{Aeq} \geq 65$  dB(A) waargenomen wordt.

De stedenbouwkundige verordening schrijft minimaal een geluidsisolerende beglazing en geluidsgedempte ventilatievoorzieningen van het gebouw voor. De lokale overheid bewaakt de naleving van bedoelde gemeentelijke stedenbouwkundige verordening.

## §4. Onderhoud.

De lokale overheid onderhoudt het groen op de (in art. 2, §1 bepaalde) grondhammen binnen de bebouwde kom.

## **ARTIKEL 4. EVALUATIE**

**§1.** Onverminderd de bepalingen opgenomen in artikel "Evaluatie" in het moederconvenant (*NIS-nr* ...../0, d.d. ....), heeft de evaluatie vooral betrekking op het doel van deze module (art. 1, §1). De evaluatie in de GBC vindt plaats op basis van een door het gewest opgesteld evaluatieverslag.

§2. De Vlaamse minister bevoegd voor Openbare Werken/Mobiliteit kan de vereisten inzake de evaluatie nader omschrijven.

### **ARTIKEL 5. SANCTIES**

§1. Als het gewest de verbintenissen zoals bepaald in artikel 2 van deze module niet naleeft, kan de lokale overheid de kosten die voortvloeien uit de verbintenissen die werden aangegaan in artikel 3 van deze module op het gewest verhalen.

§2. Als de lokale overheid de verbintenissen zoals bepaald in artikel 3 van deze module niet naleeft, kan het gewest de kosten die voortvloeien uit de verbintenissen die werden aangegaan in artikel 2 van deze module op de lokale overheid verhalen.

### **ARTIKEL 6. DUUR VAN DE MODULE**

De looptijd van een module is 10 jaar. De data van begin en einde van de duur van deze module staan in de koepelmodule.

### **ARTIKEL 7. BIJLAGEN**

De bijlagen omvatten concrete afspraken en richtlijnen. Ze maken integraal deel uit van deze module. De inhoud van deze bijlagen kan niet strijdig zijn met de module. Als de bijlagen bepalingen bevatten die strijdig zijn met deze module, dan krijgen de bepalingen van deze module voorrang.

### **BIJLAGEN**

Bijlage 1: projectnota (art. 2, §4)

Bijlage 2: conformverklaring van de projectnota (art. 1, §2)

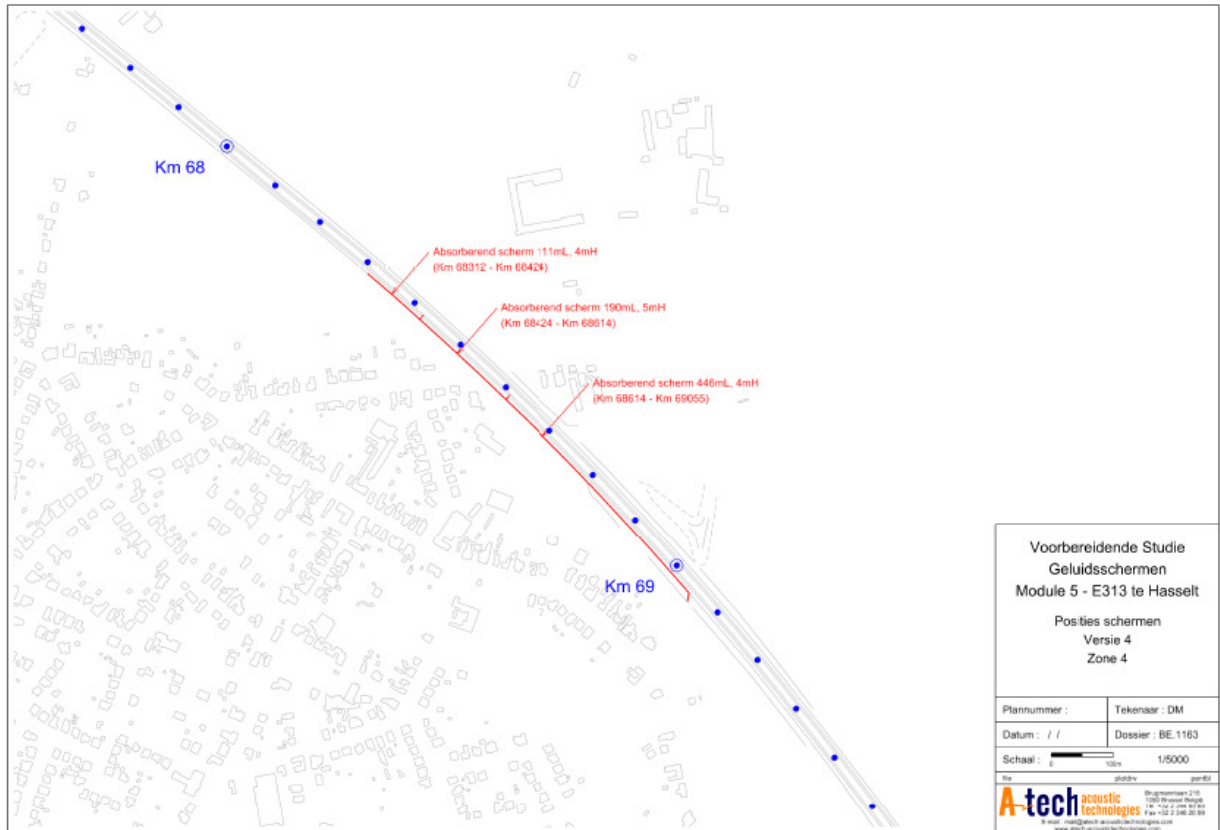
Bijlage 3: financieringsplan van de lokale overheid in geval de lokale overheid een deel van de bouwkosten moet betalen (art. 3, §2)

Bijlage (nr.) ..... : .....

*(Nummer en benoem elke eventuele bijkomende bijlage)*

*(\*: Schrap wat niet past)*

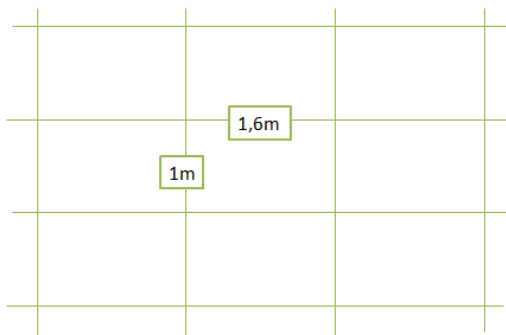
## 7.4 Bijlage 4: Positie en afmetingen van de geluidsschermen langs de E313



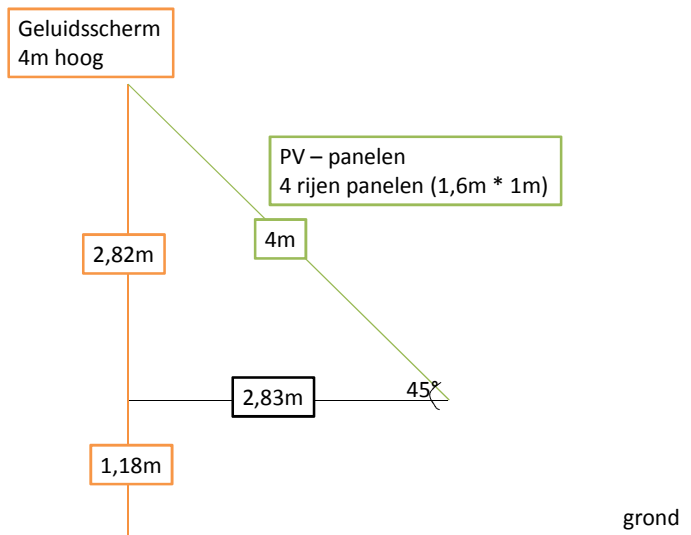
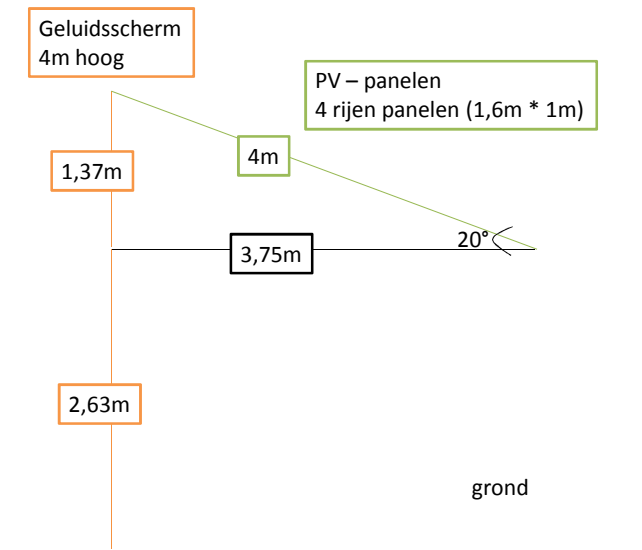
## 7.5 Bijlage 5: Schematische voorstelling van fotovoltaïsche geluidsschermen (front – mounted structuur)

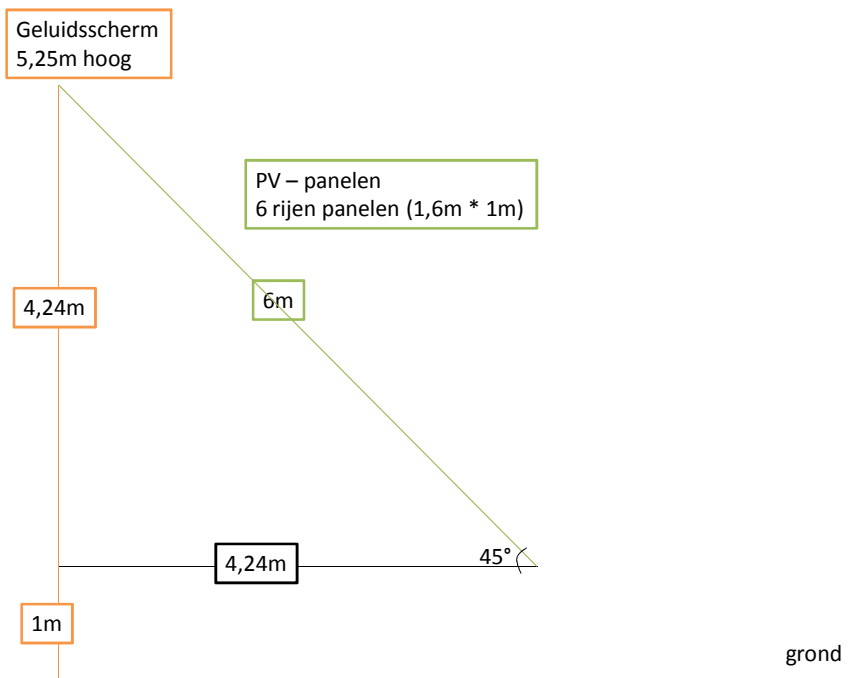
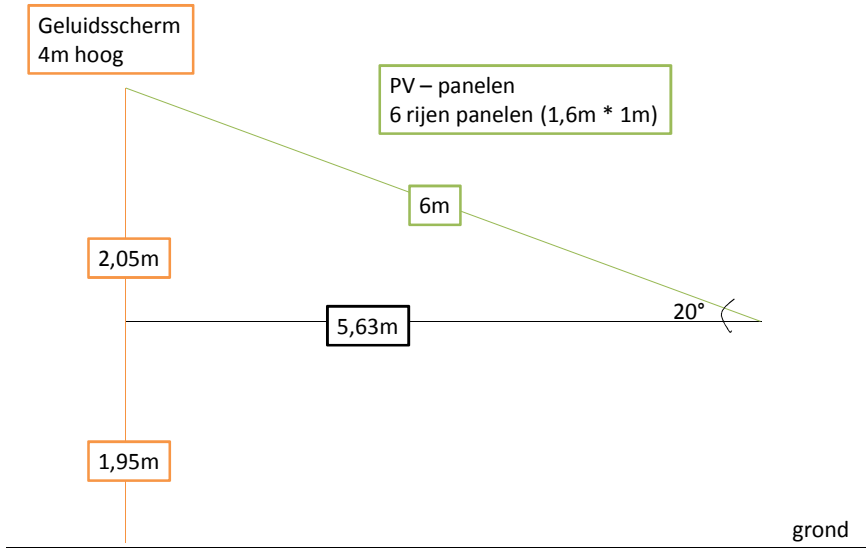
In deze bijlage wordt een schematisch overzicht gegeven van een aantal mogelijke ontwerpen van fotovoltaïsche geluidsschermen waarbij de PV – panelen schuin tegen het geluidsscherm worden gemonteerd (front – mounted structuur). Het PV – gedeelte zal telkens bestaan uit een aantal rijen fotovoltaïsche panelen die in 2010 als standaard worden aanzien, namelijk panelen van 1m hoog en 1,6m breed. Deze panelen zullen onder elkaar, in de breedte worden gemonteerd. Dit is weergegeven in figuur B5.1.

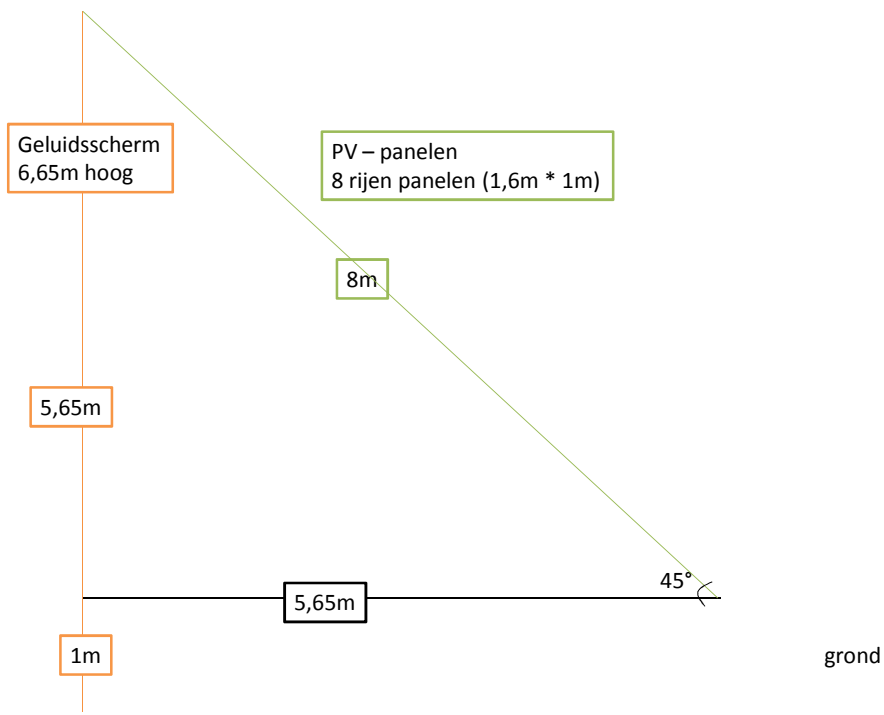
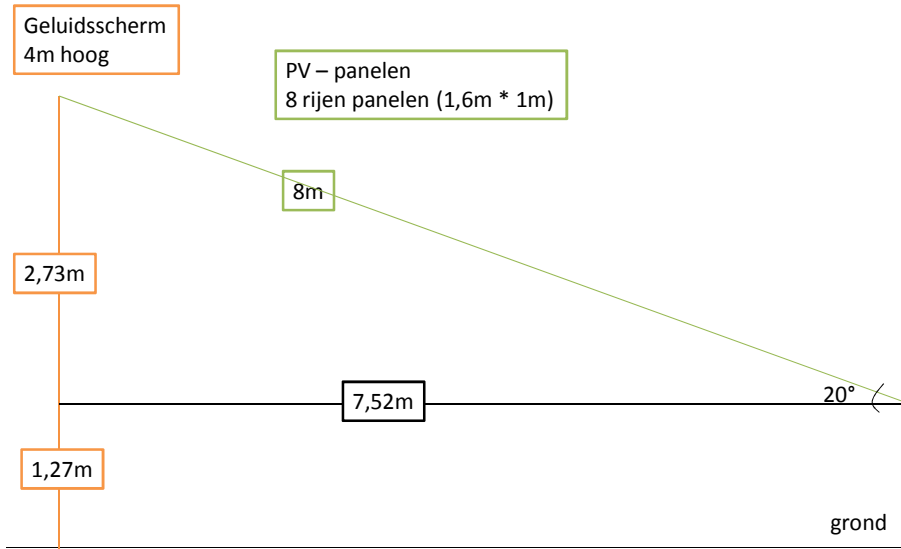
Figuur B5. 1 Plaatsing van PV - schermen



Hieronder volgt een overzicht van 6 mogelijke ontwerpen. Er wordt enerzijds onderscheid gemaakt tussen 4, 6 en 8 rijen panelen die onder elkaar geplaatst worden; anderzijds wordt er gekeken naar een inclinatiehoek van het fotovoltaïsch gedeelte van 20° en 45° (meestal valt de inclinatiehoek van een fotovoltaïsch scherm binnen deze grenzen).

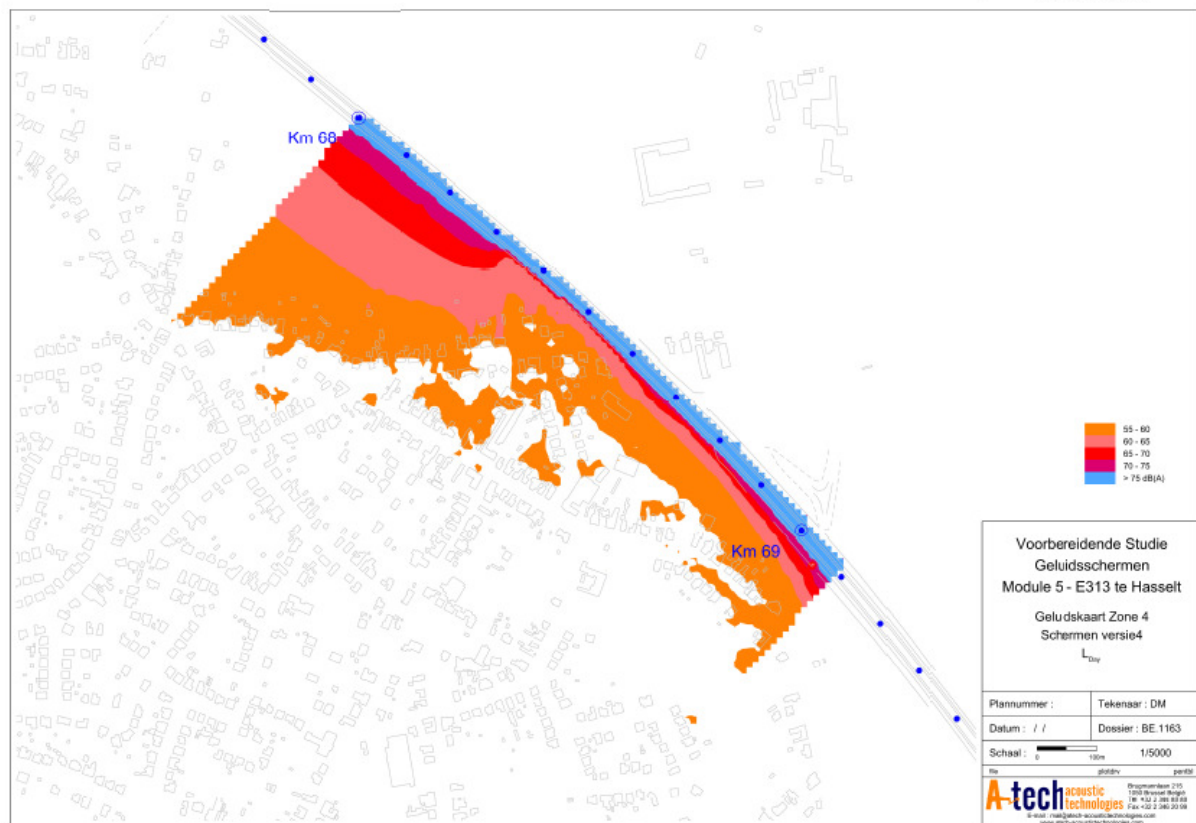
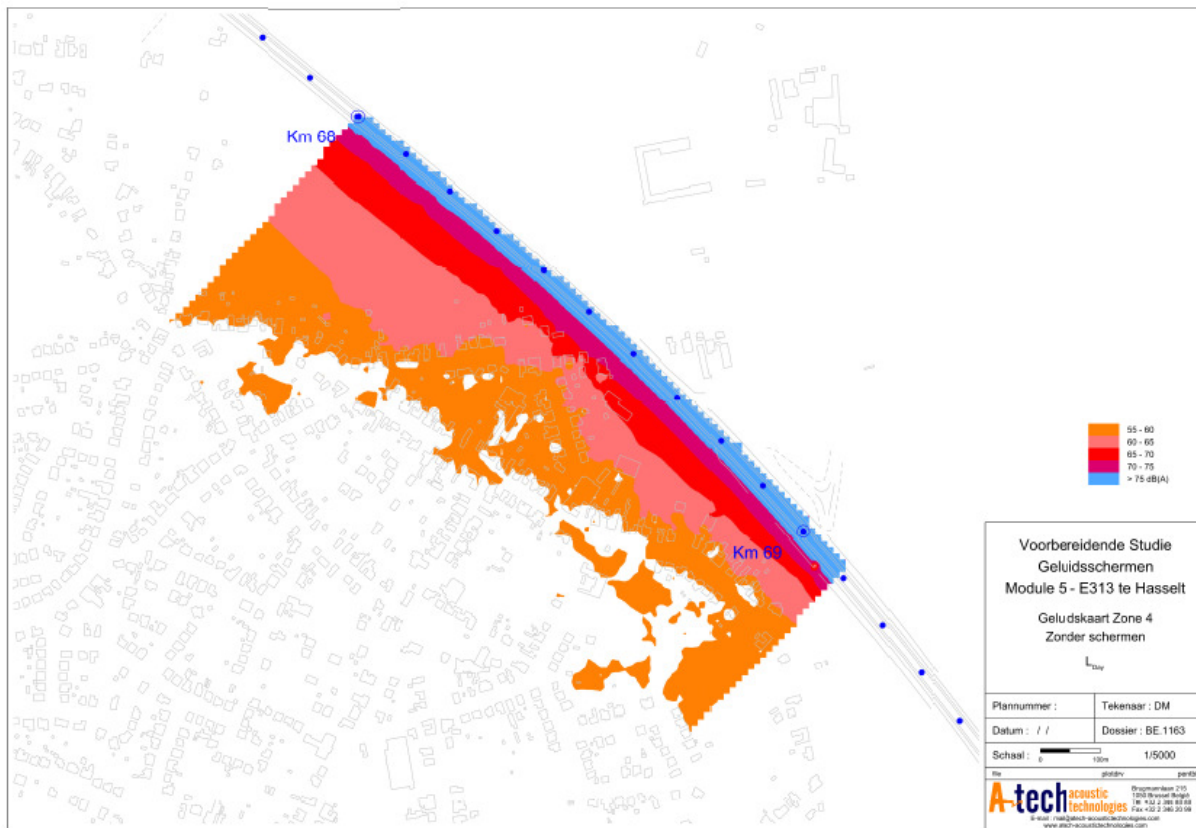




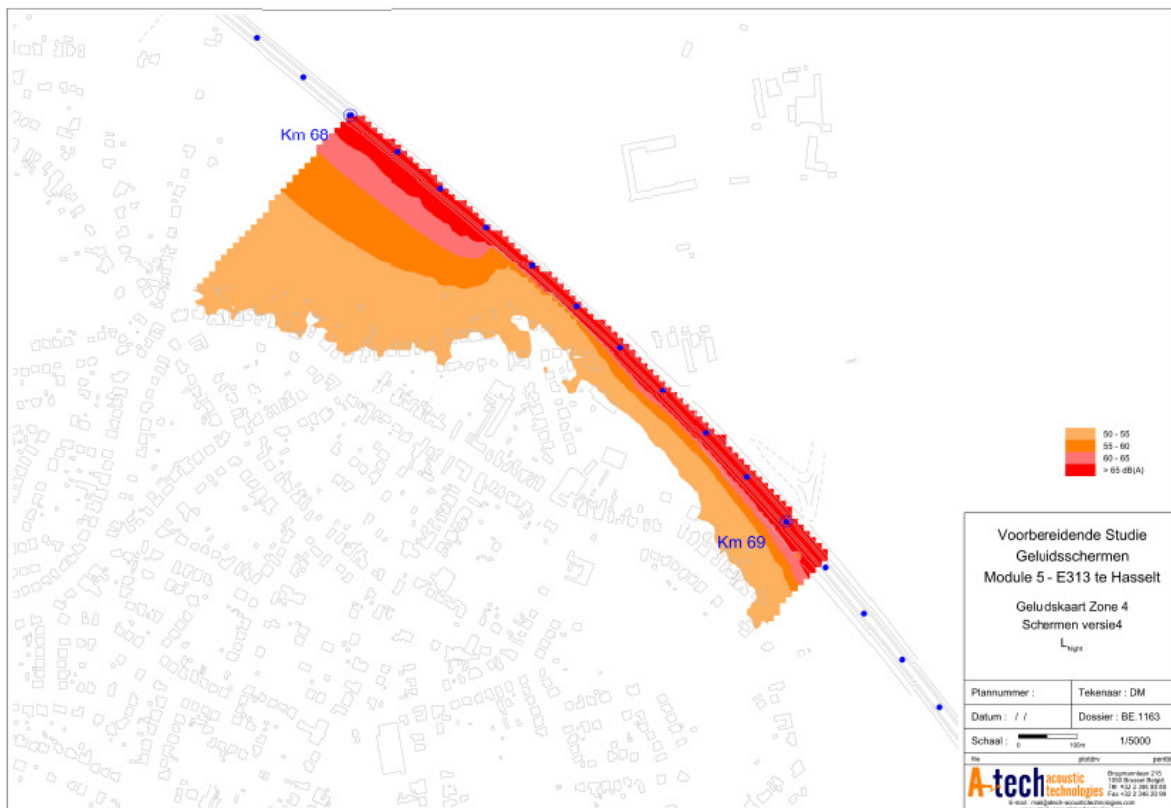
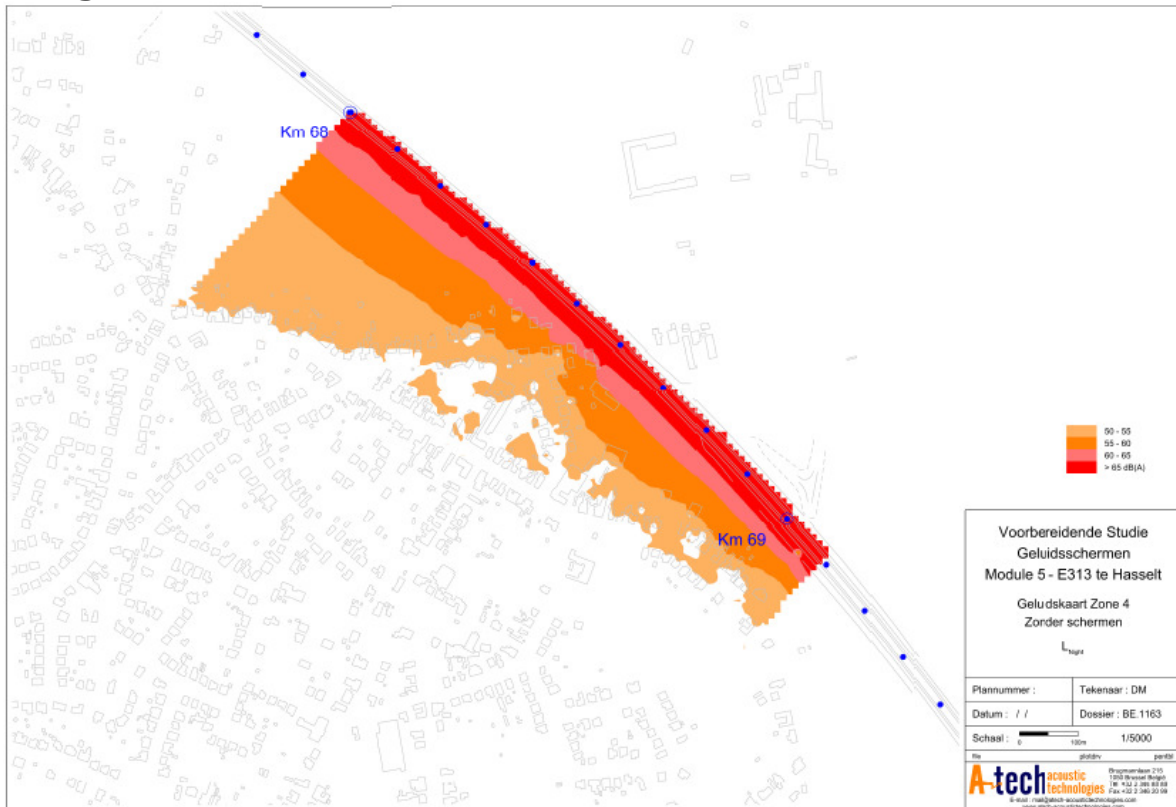




## 7.6 Bijlage 6: Geluidskarten $L_{day}$ , voor en na plaatsing van de geluidsschermen



## 7.7 Bijlage 7: Geluidskarten $L_{night}$ , voor en na plaatsing van de geluidsschermen

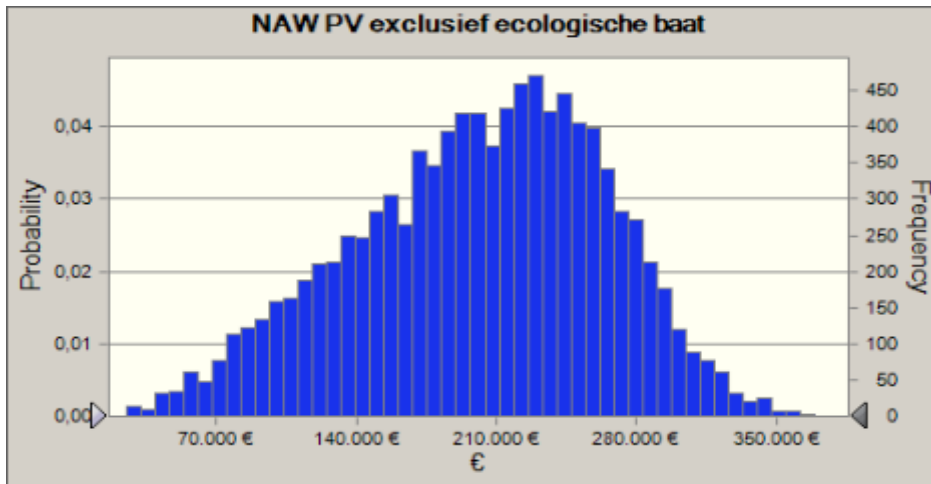


## 7.8 Bijlage 8: Kadasterplan zone geluidsscherm E313, Tuilt (Hasselt)

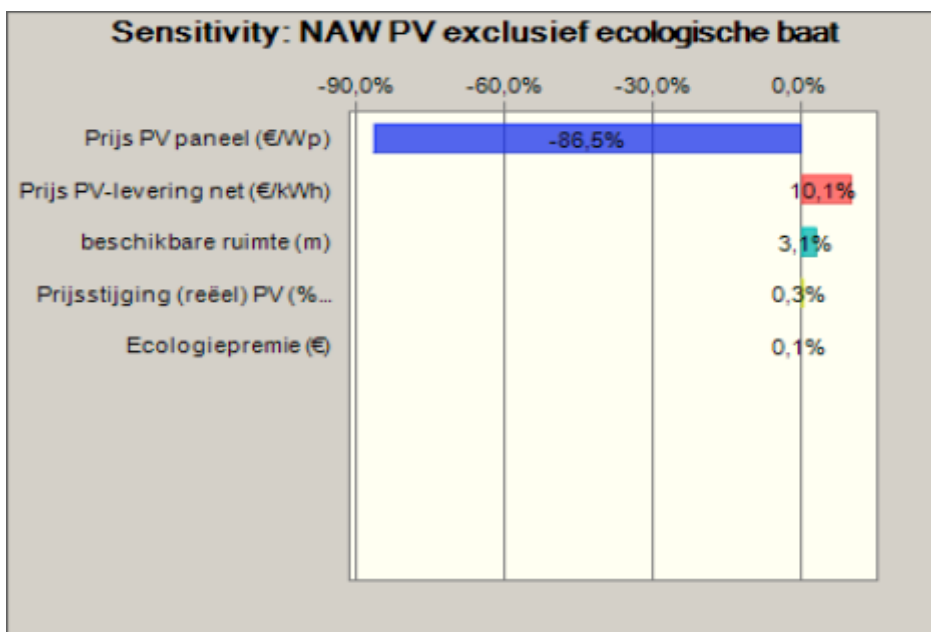


## 7.9 Bijlage 9: Resultaten Monte Carlo Simulatie

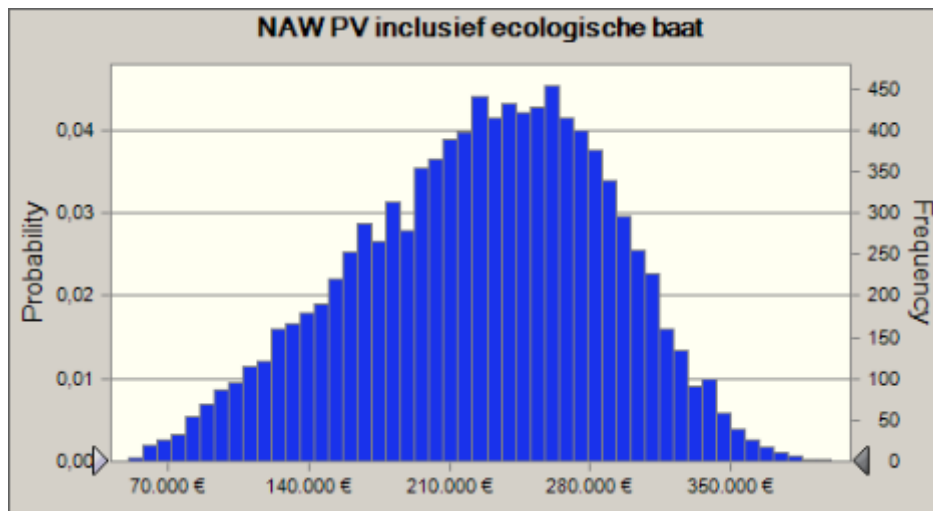
### 7.9.1 Monte Carlo simulatie PV exclusief ecologische baat



Statistics:	Forecast values
Trials	10.000
Mean	200.997 €
Median	206.582 €
Mode	---
Standard Deviation	62.778 €
Variance	3.941.060.757 €
Skewness	-0,2924
Kurtosis	2,56
Coeff. of Variability	0,3123
Minimum	13.144 €
Maximum	376.071 €
Range Width	362.927 €
Mean Std. Error	628 €

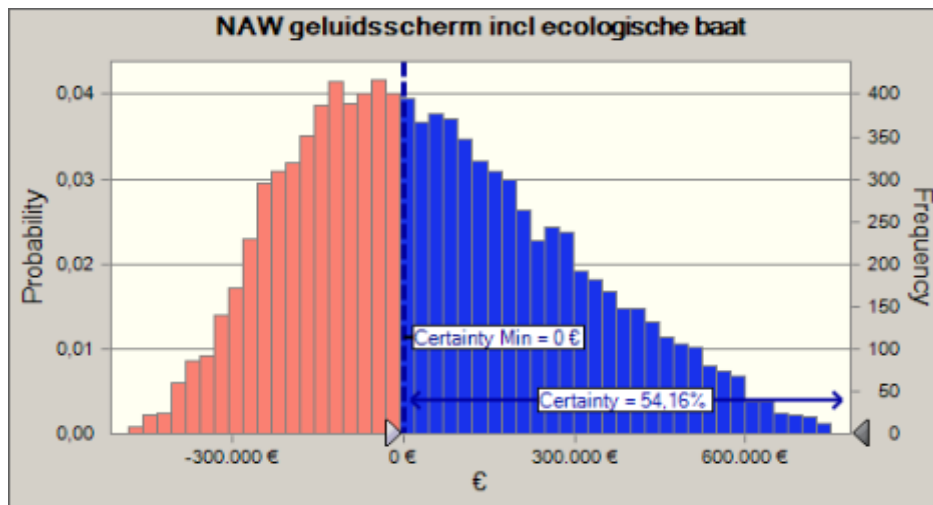


## 7.9.2 Monte Carlo simulatie PV inclusief ecologische baat

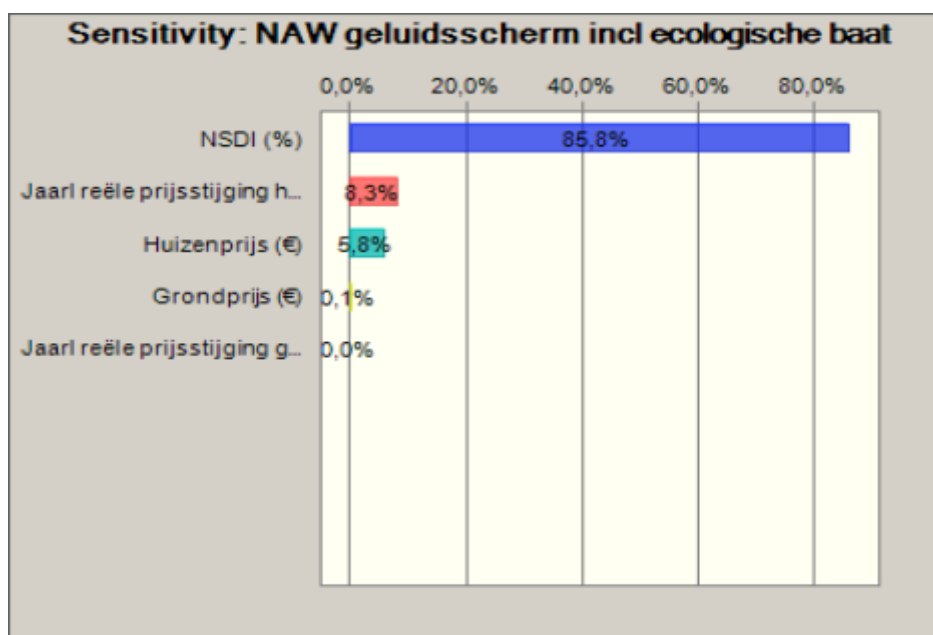


Statistics:	Forecast values
Trials	10.000
Mean	225.508 €
Median	230.176 €
Mode	---
Standard Deviation	62.735 €
Variance	3.935.672.885 €
Skewness	-0,2659
Kurtosis	2,55
Coeff. of Variability	0,2782
Minimum	43.304 €
Maximum	400.032 €
Range Width	356.729 €
Mean Std. Error	627 €

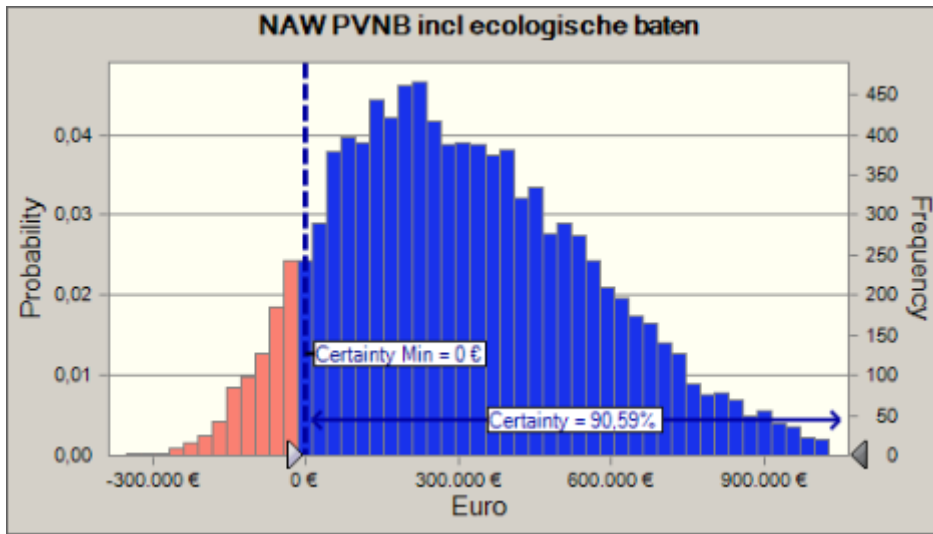
### 7.9.3 Monte Carlo simulatie geluidsschermb inclusief ecologische baat



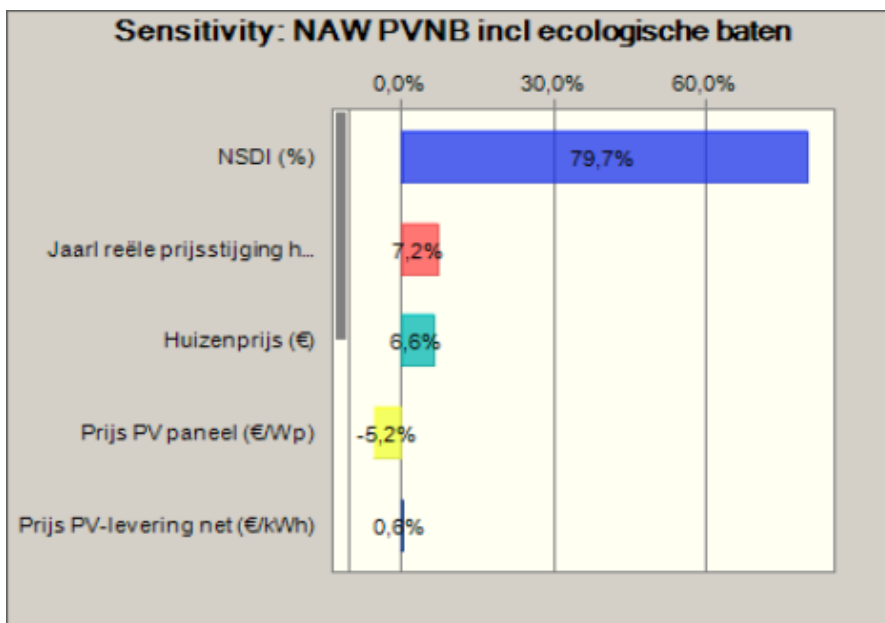
Statistics:	Forecast values
Trials	10.000
Mean	56.329 €
Median	26.696 €
Mode	---
Standard Deviation	247.622 €
Variance	61.316.512.480 €
Skewness	0,5381
Kurtosis	2,95
Coeff. of Variability	4,40
Minimum	-483.036 €
Maximum	1.043.219 €
Range Width	1.526.255 €
Mean Std. Error	2.476 €



### 7.9.4 Monte Carlo simulatie PVNB inclusief ecologische baten



Statistics:	Forecast values
Trials	10.000
Mean	314.526 €
Median	286.319 €
Mode	---
Standard Deviation	254.903 €
Variance	64.975.726.050 €
Skewness	0,4880
Kurtosis	2,98
Coeff. of Variability	0,8104
Minimum	-351.484 €
Maximum	1.576.114 €
Range Width	1.927.599 €
Mean Std. Error	2.549 €





## 7.10 Bijlage 10: Bepaling potentieel België volgens Goetzberger en volgens eigen veronderstellingen

	B	C	D	E	F	G
2	Bepaling potentieel België volgens Studie Goetzberger					
3			België	Denemarken		
4	lengte autosnelwegennet	m	2000000	1000000		
5	PV paneel A breedte	m	1	1		
6	PV paneel A lengte	m	1,6	1,6		
7	PV paneel A vermogen	Wp	230	230		
8	aantal rijen onder elkaar	#	8,33	8,33		
9	totaal # PV - panelen	#	10412500	5206250	Ellen: =D4/D6*D8	
10	totaal geïnstalleerd vermogen langs autosnelwegen	MWp	2394,9	1197,4		
11	gemiddelde elektriciteitsproductie per jaar	kWh/kWp	905	905	Ellen: =D9*D7/1000000	
12	totale productie PV - stroom langs autosnelwegen	GWh/jr	2167,4	1083,7	Ellen: =D10*D11/1000	
13						
14			België	Denemarken		
15	lengte spoorwegennet	m	2294000	230000		
16	PV paneel A breedte	m	1	1		
17	PV paneel A lengte	m	1,6	1,6		
18	PV paneel A vermogen	Wp	230	230	Ellen: =D15/D17*D19	
19	aantal rijen onder elkaar	#	5,95	5,95		
20	totaal # PV - panelen	#	8530812,5	855312,5	Ellen: =D20*D18/1000000	
21	totaal geïnstalleerd vermogen langs spoorwegen	MWp	1962,1	196,7		
22	gemiddelde elektriciteitsproductie per jaar	kWh/kWp	905	905	Ellen: =D21*D22/1000	
23	totale productie PV - stroom langs spoorwegen	GWh/jr	1775,7	178,0		

	B	C	D	E	F	G
25	Bepaling potentieel België en Vlaanderen					
26	volgens eigen veronderstellingen					
27			België	Vlaanderen		
28	lengte autosnelwegennet	m	1763300	883000		
29	PV paneel A breedte	m	1	1		
30	PV paneel A lengte	m	1,6	1,6		
31	PV paneel A vermogen	Wp	230	230		
32	aantal rijen onder elkaar	#	4	4	Ellen: =D28/D30*D32	
33	totaal # PV - panelen	#	4408250	2207500	Ellen: =D33*D31/1000000	
34	totaal geïnstalleerd vermogen langs autosnelwegen	MWp	1013,9	507,7		
35	gemiddelde elektriciteitsproductie per jaar	kWh/kWp	800	800	Ellen: =D34*D35/1000	
36	totale productie PV - stroom langs autosnelwegen	GWh/jr	811,1	406,2		
37						
38			België	Vlaanderen		
39	lengte spoorwegennet België	m	3233000	1756000		
40	PV paneel A breedte	m	1	1		
41	PV paneel A lengte	m	1,6	1,6	Ellen: =D39/D41*D43	
42	PV paneel A vermogen	Wp	230	230		
43	aantal rijen onder elkaar	#	4	4		
44	totaal # PV - panelen	#	8082500	4390000	Ellen: =D44*D42/1000000	
45	totaal geïnstalleerd vermogen langs spoorwegen	MWp	1859,0	1009,7		
46	gemiddelde elektriciteitsproductie per jaar	kWh/kWp	800	800	Ellen: =D45*D46/1000	
47	totale productie PV - stroom langs spoorwegen	GWh/jr	1487,2	807,8		



## 7.11 Bijlage 11: CBA case study E313, Tuilt (Hasselt)

In deze bijlage wordt ter volledigheid de uitgevoerde economische analyse toegevoegd. Met als doel de cijfers leesbaar te houden, zijn enkel de eerste 5 jaar na constructie van de PVNB weergegeven. De cijfers lopen analoog verder tot in het jaar 2031 (veronderstelde levensduur van 20 jaar).

			Jaar 0	1	2	3	4	5		
				2012	2013	2014	2015	2016		
<b>Kosten - baten analyse PV geluidsscherm</b>										
<b>Gegevens</b>										
<b>Geluidsscherm</b>										
Lengte geluidsscherm	m	747								
Prijs geluidsscherm	€/m	1.200								
<b>PV - installatie</b>										
PV paneel A breedte	m	1								
PV paneel A lengte	m	1,6								
PV paneel A vermogen	Wp	230								
aantal rijen onder elkaar		4								
# PV panelen	#	1867,5								
Totaal geïnstalleerd vermogen	kWp	429,525								
Prijs paneel inclus toebehoren	€/Wp	2,8								
Levensduur PV paneel	jr	20								
Regiofactor	kWh/kWp	850								
Efficiëntie		94%								
Gemidd electric prod per jaar	kWh/kWp	799		799	795,005	791,029975	787,074825	783,139451		
Afname prod per kWp	% / jaar	0,50%		100	99,5	99,00	98,51	98,01		
Productie PV stroom	kWh/jr	343,190		343,190	341,475	339,767	338,068	336,378		
Prijs PV stroom levering a net	€/kWh	0,043		0,0430	0,0439	0,0447	0,0456	0,0465		
Prijsstijging (reëel) PV stroom geleverd aan net	% / jr	2,0%								
Waarde GSC	€/kWh	0,31								
Discontovoet	%	4,0%								
<b>Kosten</b>										
<b>Geluidsscherm</b>										
Investering geluidsscherm	€	896,400								
<b>PV - installatie</b>										
Investering PV panelen	€	1.202,670								
Ecologiepremie % vd PV Investering (eenmalig)	%	0,5%								
Ecologiepremie PV panelen	€	6,013								
Verhoogde investeringsafrek (eenmalig)	%	13,5%								
Verhoogde investeringsafrek	€	162,360								
Netto totale Investeringskost PV excl. BTW		1.034,296								
Verzekering van de PV - panelen	€/jaar	5,000		5,000	5,000	5,000	5,000	5,000		
Onderhoudskost PV - panelen	€/Wp	0,03								
Kosten injectie abonnement	€/jaar	800								
Totale jaarlijkse kost van de panelen		18,686		18,686	18,686	18,686	18,686	18,686		
<b>Economische baten PV installatie</b>										
Opbrengst PV stroom electriciteit	€			14,757	14,977	15,200	15,427	15,657		
Opbrengst GSC (toegekend gedurende 20 jaar)	€			106,389	105,857	105,328	104,801	104,277		
<b>Netto (economische) baat PV installatie</b>										
PV installatie	€		NAW PV (e	-249,223 €	-1.034,296	97,460	97,148	96,842	96,542	96,248
			IRR	6,70%		-936,836	-839,687	-742,845	-646,303	-550,055
<b>Ecologische baten PV - installatie</b>										
<b>Vermeden CO2 uitstoot</b>										
CO2 uitstoot grijze stroom	kg/kWh	0,385								
Vermeden CO2 uitstoot	ton CO2	132,128		132,128	131,468	130,810	130,156	129,506		
Prijs CO2 emissierecht	€/ton CO2	15,75								
Waarde vermeden CO2 uitstoot	€	2,081		2,081	2,071	2,060	2,050	2,040		
<b>Economische + ecologische baat PV installatie</b>										
			NAW PV (ir	275,332 €	-1.034,296	99,542	99,219	98,903	98,592	98,288
			IRR	6,97%		-934,755	-835,536	-736,633	-638,041	-539,753

<b>Ecologische baat geluidsscherm</b>										
Noise Depreciation Index (NDI)	%	0,50%								
<b>Stijging waarde huizen</b>										
Geluidsvermindering door scherm	dB	11,5								
Aantal huizen in zone -11,5 dB		2								
Geluidsvermindering door scherm	dB	10,5								
Aantal huizen in zone -10,5 dB		3								
Geluidsvermindering door scherm	dB	8,0								
Aantal huizen in zone -8 dB		1								
Geluidsvermindering door scherm	dB	6,0								
Aantal huizen in zone -6 dB		11								
Geluidsvermindering door scherm	dB	5,5								
Aantal huizen in zone -5,5 dB		23								
Geluidsvermindering door scherm	dB	3,0								
Aantal huizen in zone -3 dB		348								
Waarde van een huis	€	200.000								
Totale stijging waarde huizen	€	1.299.000								
Levensduur huis	jaar	30								
Totale stijging waarde huizen per jaar	€/jaar	43.300	43.300	44.279	45.279	46.303	47.349			
Reële prijsstijging huizen per jaar	% /jaar	2,26%								
<b>Stijging waarde gronden</b>										
Geluidsvermindering door scherm	dB	6								
Aantal gronden in zone -6dB		3								
Geluidsvermindering door scherm	dB	5,5								
Aantal gronden in zone -5,5dB		1								
Geluidsvermindering door scherm	dB	3								
Aantal gronden in zone -3dB		69								
Waarde van een grond		75000								
Totale stijging waarde gronden	€	86437,5								
Levensduur grond	jaar	35								
Totale stijging waarde gronden per jaar	€/jaar	2.470	2.470	2.525	2.583	2.641	2.701			
Reële prijsstijging bouwgronden per jaar	% /jaar	2,26%								
<b>Ecologische baat geluidsscherm</b>			NAW geluid	-137.516 €	-896.400	45.770	46.804	47.862	48.943	50.050
			IRR	2,25%		-850.630	-803.826	-755.965	-707.021	-656.971
<b>Totale economische + ecologische baat PVNB</b>			NAW PVNB	137.816 €	-1.930.696	145.311	146.023	146.764	147.536	148.337
			IRR	5,72%		-1.785.385	-1.639.362	-1.492.598	-1.345.062	-1.196.725
						1	2	3	4	5
						2012	2013	2014	2015	2016

# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

**Economische & ecologische impact van fotovoltaïsche geluidsschermen**

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen:  
handelsingenieur-technologie-, innovatie- en milieumanagement**

Jaar: **2010**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**De Schepper, Ellen**

Datum: **31/05/2010**